

Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés Arabica

Guyot B.¹, Gueule D.¹, Manez J.C.¹, Perriot J.J.¹, Giron J.², Villain L.²

¹ CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

² ANACAFE, 5a. Calle 0-50, Zona 14, Avenida de las Americas, Guatemala City, Guatemala

Résumé

Le comportement des cafés Bourbon et Catuai présente des différences suivant les altitudes de 1 100 et 1 400 m qui portent sur la granulométrie et la composition chimique des fèves : acidité, teneur en caféine et en matière grasse ; différences liées à la maturité du café vert. L'ombrage joue un rôle presque identique à celui de l'altitude pour les cafés verts Catuai. En retardant la maturité, il permet d'obtenir une meilleure granulométrie, une augmentation de l'acidité et de la teneur en saccharose, paramètres importants pour la formation de l'arôme. L'ombrage améliore donc la qualité du café Catuai. Si les différences de composition chimique des cafés verts Bourbon et Catuai, en fonction de l'altitude, sont nettes, les résultats des tests organoleptiques sont moins significatifs. L'ombrage et l'altitude retardent la maturité et améliorent la qualité, surtout pour le café Catuai.

Resumen

El comportamiento de los cafés Borbón y Catuai presenta diferencias según las altitudes de 1 100 y 1 400 m que influyen en la granulometría y la composición química de los granos: acidez, contenido de cafeína y de grasa; diferencias relacionadas con la madurez del café oro. La sombra desempeña un papel casi idéntico a aquél de la altitud para los cafés oro Catuai. Al retrasar la madurez, permite lograr una mejor granulometría, un aumento de la acidez y del contenido de sacarosa, parámetros importantes para la formación del aroma. La sombra mejora por lo tanto la calidad del café Catuai. Si las diferencias de composición química de los cafés verdes Borbón y Catuai, según la altitud, son nítidas, los resultados de las pruebas organolépticas son menos significativos. La sombra y la altitud retrasan la madurez y mejoran la calidad, sobre todo para el café Catuai.

Abstract

The performance of Bourbon and Catuai coffees differs at altitudes of 1,100 and 1,400 m in terms of bean size and chemical composition: acidity, caffeine and fat contents; the differences are linked to green coffee ripening. Shading plays virtually the same role as altitude for Catuai green coffees. By delaying ripening, it results in better bean size and increases the acidity and sucrose content, which are important factors in aroma formation. Shading therefore improves the quality of Catuai coffee. Whilst altitude-related differences in the chemical composition of Bourbon and Catuai green coffees are clear, the results of organoleptic tests are less significant. Shading and altitude delay ripening and improve quality, especially for Catuai coffee.

De nombreux paramètres agronomiques, génétiques et technologiques contribuent à la qualité du café. Ainsi, l'altitude et l'ombrage, intervenant dans les conditions de culture et de maturité, sont reconnus pour avoir une influence importante sur la qualité des cafés Arabica (Gopal et D'Souza, 1977 ; Teixeira *et al.*, 1979 ; Clifford et Wilson, 1987 ; Cavaletto *et al.*, 1992). Cette influence a été également discutée et évaluée par Cannell (1974).

Les études effectuées jusqu'à présent ont concerné essentiellement l'agronomie et la production (Reis, 1981 ; Roe et Whitaker, 1985). Leur influence sur la qualité finale n'a été évaluée que dans certains cas et seulement à partir de tests organoleptiques (Arcila et Valencia, 1975 ; Soenaryo et Surip, 1987). De plus, lors de ces travaux, l'origine des échantillons de café analysés n'est pas toujours connue avec précision. L'absence d'information sur la variété (cultivar) et sur les conditions de préparation (durée de fermentation, durée et mode de séchage, etc.) ne permet pas une exploitation rigoureuse des résultats.

Jusqu'à présent, la composition chimique et biochimique des fèves de café vert et ses variations en fonction de l'altitude et de l'ombrage n'ont pas été étudiées de façon précise et systématique, et seules des analyses simples caractérisant l'acidité ont été effectuées (Cavaletto *et al.*, 1992).

L'expérimentation mise en place en collaboration avec ANACAFE¹ au Guatemala a testé :

- deux variétés (Bourbon et Catuai), sous ombrage d'Inga, à 1 100 et 1 400 m d'altitude ;
- une variété (Catuai) avec et sans ombrage, à l'altitude de 1 100 m.

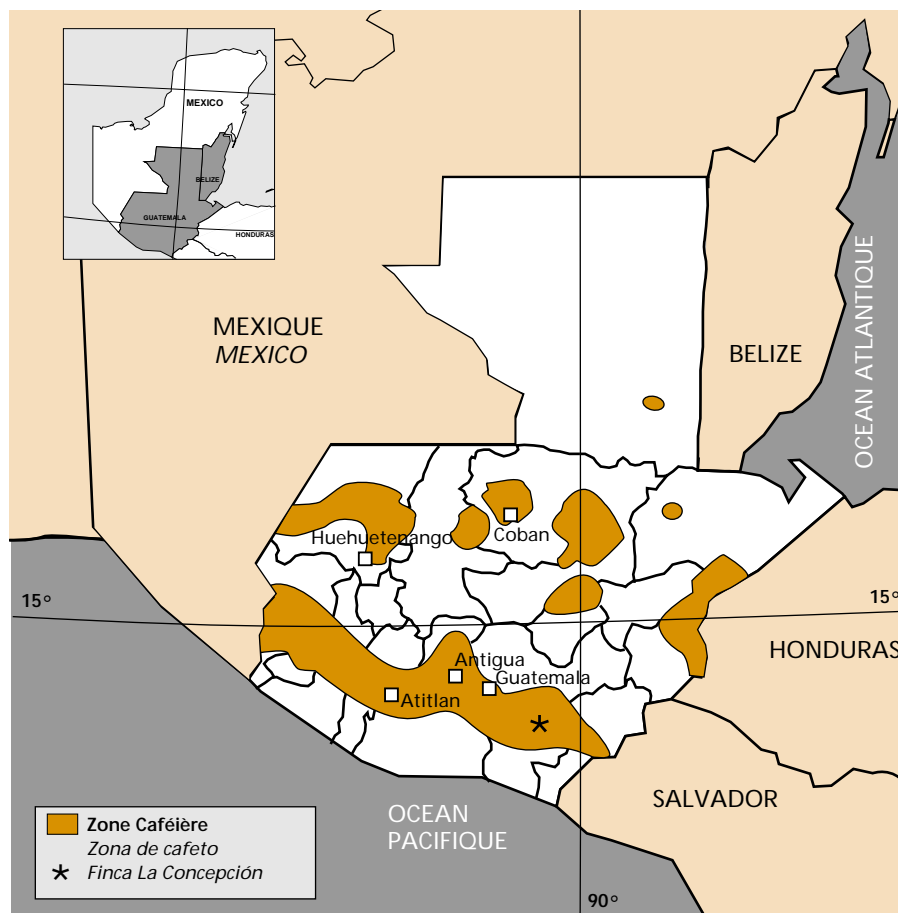
L'influence de ces paramètres a été mesurée sur du café vert et sur le café torréfié correspondant. Les conditions expérimentales n'ont pas permis d'évaluer les rendements par arbre et la production des différentes parcelles.

Matériel et méthode

Préparation des échantillons de café vert

Le lieu de récolte des échantillons de cerises a été choisi par ANACAFE en fonction de critères et de contraintes imposés par l'étude (en particulier choix de parcelles ayant subi les mêmes traitements agronomiques) pour la préparation des échantillons de cafés verts. Les échantillons de cerises proviennent de parcelles parfaitement identifiées de la *finca* La Concepción, (2 000 ha dont 400 plantés en café), commune de Cuilapa, département de Santa Rosa, située à 80 km à l'est de Ciudad de Guatemala, et à 30 km de la station expérimentale d'ANACAFE, Las Flores (carte), où les échantillons de cafés verts ont été préparés par voie humide (dépulpage, fermentation et séchage).

¹ Association nationale du café.



Implantation géographique de la culture du café au Guatemala. / *Implantación geográfica del cultivo del café en Guatemala.*

Pour l'étude de l'altitude et de l'ombrage, 4 répétitions ont été effectuées. Les conditions expérimentales sont décrites dans un rapport plus détaillé concernant cette étude (Guyot, 1995).

Caractérisation des échantillons

Les différences induites par l'altitude et l'ombrage ont été étudiées sur :

- le café vert, par l'analyse technologique (granulométrie) et par des analyses chimiques : sucres, acidité (acides organiques totaux, pH), acides chlorogéniques, caféine, trigonelline. Les analyses chimiques sont effectuées après broyage et tamisage (Guyot *et al.*, 1988) ;
- le café torréfié, par des tests organoleptiques. Après la torréfaction et son contrôle par le bilan de torréfaction (perte en poids et mesure de couleur), les échantillons sont dégustés par un jury de 8 dégustateurs. Les principales saveurs (arôme, astringence, amertume et acidité) sont évaluées par rapport à des échantillons témoins.

Résultats et discussion

Influence de l'ombrage (Catuai)

Analyse physique

Les échantillons de café vert Catuai ont été calibrés (figure 1) avec des tamis d'ouverture de 12, 14, 16 et 18 (en soixante quatrième de pouce). La partie des échantillons inférieure au tamis de 12 correspond en grande partie à des brisures (environ 2 %). Ces résultats montrent que l'ombrage (AOM) favorise légèrement une meilleure granulométrie. Le refus cumulé aux tamis de 16 et 18 est de 69 % avec ombrage contre 65 % sans ombrage (SOM). Une maturité plus lente, due à l'ombrage, favorise donc un meilleur développement des fèves de café vert.

Analyses chimiques

D'après les analyses (tableau 1), l'ombrage augmente : la teneur en acides chlorogéniques (+ 10 %), l'acidité évaluée par le pH, l'acidité totale (environ + 16 %), les teneurs en caféine (+ 4 %) et en saccharose

(+ 3 %). En revanche, il diminue la teneur en trigonelline (environ - 10%) ; les teneurs en matière grasse restent constantes.

Les analyses de variance effectuées sur les différents constituants chimiques en fonction de l'ombrage sont significatives sauf pour la teneur en matière grasse.

Le tableau 2 révèle d'intéressantes corrélations entre analyses chimiques et granulométrie. Ainsi, il existe de bonnes corrélations entre la granulométrie (somme des refus au tamis de 16 et 18) et la teneur en saccharose (0,78). L'acidité (0,67) et le pH (- 0,79) sont également en relation avec une bonne granulométrie. L'ombrage, en favorisant une meilleure granulométrie, augmente donc la teneur en saccharose et l'acidité. Ce résultat est important pour la qualité finale car ces deux constituants sont des précurseurs de l'arôme ; ils contribuent activement aux réactions de Maillard lors de la torréfaction du café.

Analyses organoleptiques

Parmi les caractéristiques évaluées lors des tests organoleptiques, seule l'amertume varie significativement en fonction de l'ombrage. Les cafés torréfiés correspondant aux cafés verts cultivés avec ombrage sont moins amers (environ 18 %) que les échantillons plantés sans ombrage. Ils sont également légèrement plus acides mais ce critère n'est pas significatif lors de l'analyse de variance. Cette observation est importante car un excès d'amertume nuit à la qualité des cafés Arabica.

Les autres critères : l'acidité, le corps, l'astringence, l'arôme paraissent indépendants de l'ombrage.

L'analyse en composantes principales, effectuée sur les valeurs des caractéristiques organoleptiques, montre que les échantillons avec ombrage ont une représentation dans le plan relativement groupée ; en revanche, celle des échantillons sans ombrage est très dispersée. Cette dispersion explique, en partie, l'absence de différences significatives entre les caractéristiques organoleptiques en fonction de l'ombrage. On peut, également, émettre l'idée que l'ombrage favorise une maturité plus homogène pour une même parcelle, alors que l'absence d'ombrage induit des niveaux de maturité différents au moment de la récolte, qui se traduisent par une hétérogénéité au niveau de la qualité des cafés.

Influence de l'altitude (Catuai et Bourbon)

Analyse physique (figure 2)

Pour le Bourbon, le refus au tamis de 12 est constitué de grosses brisures alors que la

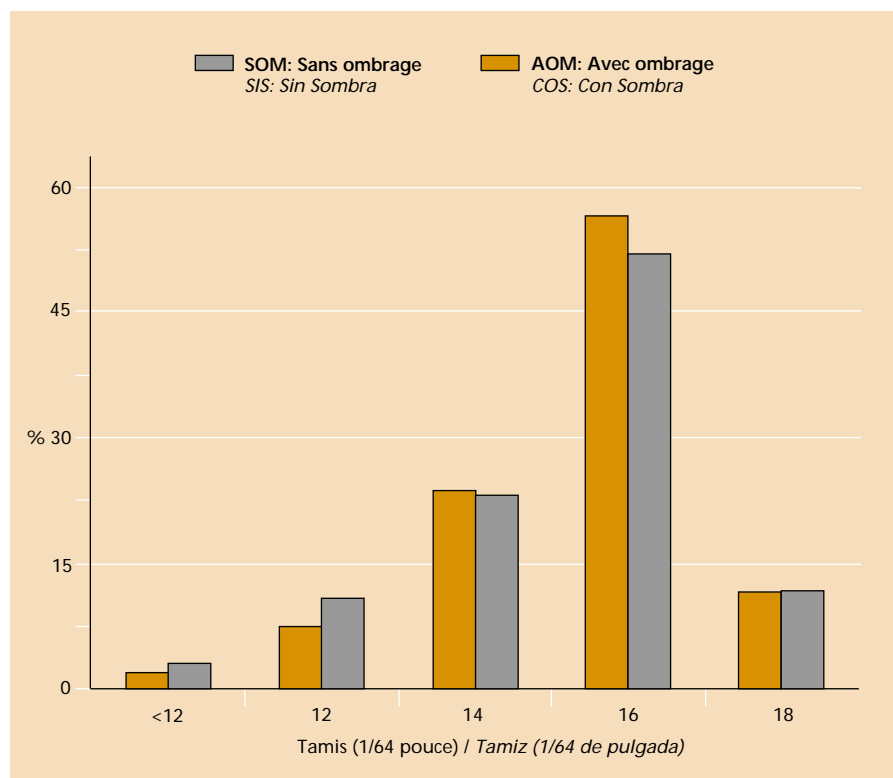


Figure 1. Influence de l'ombrage sur la granulométrie (Catuai). / *Influencia de la sombra en la granulometría (Catuai).*

AOM = avec ombrage ; SOM = sans ombrage
COS = con sombra; SIS = sin sombra

partie inférieure à 12 correspond à des petites brisures. Le refus au tamis de 14 correspond essentiellement à des caracolis. Pour le Catuai, le refus au tamis de 12 est constitué de petites fèves et de caracolis, la

partie inférieure au tamis de 12 correspond à des brisures.

Pour le Catuai, l'altitude a un effet important sur la granulométrie pour le refus cumulé aux tamis de 16 et 18 (87,7 % à

1 400 m contre 68,8 % à 1 100 m). Cet effet est non-significatif pour le Bourbon (85 % quelle que soit l'altitude).

Pour le Catuai, l'effet de l'altitude sur la taille des fèves est supérieur à celui de l'ombrage ; en retardant la maturité, il permet un meilleur développement des fèves, ce qui se traduit par une granulométrie plus importante. Pour les cafés Bourbon cette constatation ne s'applique pas, le facteur maturité est indépendant de l'altitude dans nos conditions d'expérimentation, entre 1 100 m et 1 400 m. Cependant, ces observations devraient être pondérées par les rendements ou la production par arbre, ainsi, dans le cas du café Catuai, une forte granulométrie peut correspondre à une diminution de rendement.

Analyses chimiques (tableau 3)

Pour le Bourbon et le Catuai, l'altitude a la même influence sur la teneur en certains constituants chimiques, elle :

- augmente fortement l'acidité (+ 25 %), la teneur en caféine (+ 10 %) et légèrement la teneur en trigonelline ;
- diminue la teneur en matière grasse (- 12,5 %).

Pour le saccharose, constituant clef de la maturité, l'influence de l'altitude change suivant la variété : elle augmente la teneur en saccharose (+ 10 %) pour le Catuai mais la diminue pour le Bourbon (- 11%). Cette observation confirme l'augmentation de la granulométrie observée dans le cas du Catuai. L'altitude ne diminue pas significativement la teneur en acides chlorogéniques

Tableau 1. Influence de l'ombrage sur la composition chimique des fèves de café vert. / *Influencia de la sombra en la composición química de los granos de café oro.*

AOM/COS	CHL (%)	CAF (%)	TRI (%)	SAC (%)	pH	ACID	MG (%)
1	7,73	1,28	0,94	6,74	5,50	7,30	16,40
2	7,69	1,32	0,90	6,66	5,50	7,00	16,70
3	7,68	1,32	0,95	6,53	5,54	6,70	16,00
4	7,75	1,36	0,88	6,79	5,50	6,90	16,90
Moyenne Promedio	7,71	1,32	0,92	6,68	5,51	6,98	16,50
SOM/SIS							
1	7,01	1,27	1,00	6,53	5,56	6,10	16,30
2	6,92	1,27	1,03	6,43	5,59	5,60	16,70
3	7,07	1,28	0,96	6,54	5,57	6,00	16,70
4	7,08	1,27	0,99	6,44	5,54	6,20	16,90
Moyenne Promedio	7,02	1,27	1,00	6,49	5,57	5,98	16,65

AOM/COS = avec ombrage/con sombra; SOM/SIS = sans ombrage/ sin sombra; CHL = acides chlorogéniques/ácidos clorogénicos; CAF = caféine/cafeína; TRI = trigonelline/trigonelina; SAC = saccharose/sacarosa ; ACID = acidité exprimée en ml de NaOH 0,1N/5 g de café vert/acidez expresada en ml de NaOH 0,1N/5 g de café oro; MG = matière grasse/grasa; 1, 2, 3, 4 = répétitions/replicaciones.

Tableau 2. Matrice de corrélations entre données chimiques et granulométrie. / *Matriz de correlaciones entre datos químicos y granulometria.*

	CHL	CAF	TRI	SAC	MG	pH	ACID
T 12	- 0,912	- 0,676	0,729	- 0,753	0,171	0,756	- 0,903
T 14	- 0,043	0,147	0,251	- 0,496	- 0,496	0,499	- 0,270
T 16 + 18	0,492	0,216	- 0,569	0,783	0,317	- 0,789	0,674

CHL = acides chlorogéniques/ácidos clorogénicos; CAF = caféine/cafeína; TRI = trigonelline/trigonelina; SAC = saccharose/sacarosa; MG = matière grasse/grasa; ACID = acidité exprimée en ml de NaOH 0,1N/5 g de café vert/acidez expresada en ml de NaOH 0,1N/5 g de café oro; T = tamis/tamiz.

(- 5 %) pour le Bourbon, pour le Catuai la teneur reste constante.

Le tableau 4 met en évidence les corrélations existant entre analyses chimiques et données granulométriques. Pour le café Catuai, il existe de bonnes corrélations entre la granulométrie (somme des refus aux tamis de 16 et 18), la teneur en saccharose (0,76) et en acidité (acidité totale 0,96, pH - 0,91). Ces corrélations confirment donc que l'altitude, comme l'ombrage, en favorisant pour le Catuai une meilleure granulométrie, permet, du point de vue chimique, une augmentation de la teneur en saccharose et de l'acidité. Ce fait est important car ces deux facteurs contribuent fortement à la formation de l'arôme lors de la torréfaction.

L'altitude et l'ombrage auraient donc une même influence sur la composition chimique des fèves pour le Catuai.

Les corrélations entre les autres variables chimiques ne permettent pas de tirer des conclusions quant à l'influence de l'altitude sur la qualité des fèves sauf en ce qui concerne l'acidité et la teneur en saccharose, dont la corrélation est de 0,76. Cette observation, décrite par Cavaletto *et al.* (1992), confirme l'influence bénéfique de l'altitude sur la composition chimique des fèves de Catuai.

Pour les cafés Bourbon (tableau 4) on n'observe pas de corrélations significatives entre la granulométrie (somme des refus aux tamis de 16 et 18) et certains consti-

tuants chimiques sauf avec les acides chlorogéniques (0,61). Ce résultat a déjà été observé dans le cas de café Robusta récolté immature (Petnga, 1986). Les corrélations entre certaines variables chimiques confirment ce résultat, par exemple entre saccharose et acidité la corrélation est de 0,98 au lieu de 0,78 pour le café Catuai.

Le facteur altitude ne semble pas jouer le même rôle pour le café Bourbon que pour le café Catuai. Cette différence de comportement pourrait avoir deux origines :

- pour le café Catuai, l'altitude retarde la maturité de manière significative, d'où un développement plus complet des fèves ; ceci se traduit par une meilleure granulométrie et par une teneur en saccharose et une acidité plus élevées ;
- pour le café Bourbon, une cueillette de cerises légèrement immatures à 1 400 m serait responsable des résultats obtenus (en particulier caractéristiques identiques de la granulométrie et une teneur en saccharose plus faible) car les fèves ne seraient pas assez mûres physiologiquement. Un problème de séchage n'est pas à écarter non plus pour ces échantillons qui présentent une teneur en eau relativement élevée ; une dégradation du saccharose due à de mauvaises conditions atmosphériques pendant le séchage peut également être envisagée.

L'analyse factorielle discriminante (AFD), effectuée en prenant comme critère de groupe 2 altitudes et 2 variétés soit 4 groupes, montre 100 % d'individus bien classés. Ce classement est confirmé par les distances de Mahalanobis équivalentes entre les 4 groupes ainsi constitués (tableau 5).

Analyses organoleptiques

Les valeurs des caractéristiques organoleptiques sont peu différentes en fonction de l'altitude et les analyses de variance effectuées sur celles-ci ne montrent pas de différences significatives aussi bien pour les cafés Bourbon que pour les cafés Catuai (tableau 6).

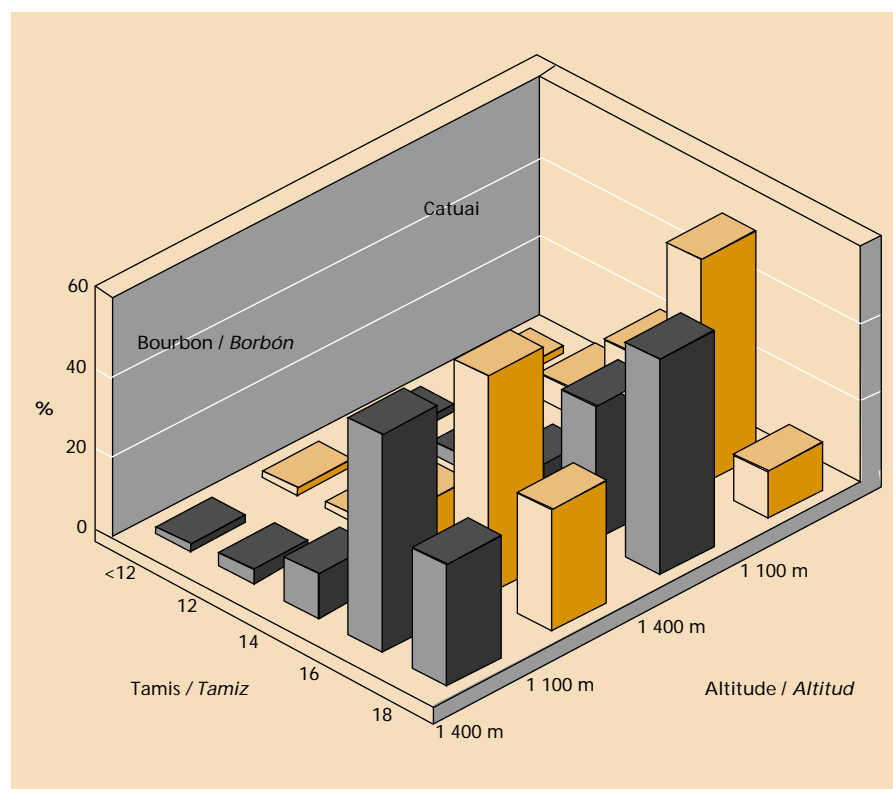


Figure 2. Influence de l'altitude sur la granulométrie (Catuai et Bourbon). / *Influencia de la altitud en la granulometria (Catuai y Borbón).*

Tableau 3. Influence de l'altitude sur la composition chimique des fèves de café. / *Influencia de la altitud en la composición química de los granos de café.*

ALTITUDE ALTITUD	CHL (%)	CAF (%)	TRI (%)	SAC (%)	pH	ACID	MG (%)
CATUAI							
1 100 m							
1	7,73	1,28	0,94	6,74	5,40	7,30	16,40
2	7,69	1,32	0,90	6,66	5,50	7,00	16,70
3	7,68	1,32	0,95	6,53	5,54	6,70	16,00
4	7,75	1,36	0,88	6,79	5,50	6,90	16,90
Moyenne Promedio	7,71	1,32	0,92	6,68	5,49	6,98	16,50
1 400 m							
1	7,72	1,49	0,99	7,68	5,32	8,70	14,60
2	7,86	1,48	0,96	6,86	5,31	8,70	14,80
3	7,82	1,43	0,95	7,05	5,37	8,60	14,20
4	7,39	1,49	1,01	7,27	5,28	8,90	14,10
Moyenne Promedio	7,70	1,47	0,98	7,22	5,32	8,73	14,43
BOURBON BORBÓN							
1 100 m							
1	8,02	1,26	0,95	7,52	5,53	7,20	17,50
2	7,54	1,25	0,96	7,57	5,53	7,20	17,70
3	7,77	1,28	0,92	7,14	5,49	7,50	17,40
4	7,94	1,31	0,98	7,25	5,48	7,80	17,30
Moyenne Promedio	7,82	1,28	0,95	7,37	5,51	7,43	17,48
1 400 m							
1	7,11	1,41	0,98	6,53	5,23	9,20	16,80
2	7,62	1,40	1,02	6,54	5,30	9,10	16,70
3	7,68	1,39	0,99	6,39	5,31	9,10	16,60
4	7,35	1,45	1,04	6,47	5,31	9,40	16,70
Moyenne Promedio	7,44	1,41	1,01	6,48	5,29	9,20	16,70

CHL = acides chlorogéniques/ácidos clorogénicos ; CAF = caféine/cafeína ; TRI = trigonelline/trigonelina ; SAC = saccharose/sacarosa ; ACID = acidité exprimée en ml de NaOH 0,1N/5 g de café vert/acidez expresada en ml de NaOH 0,1N/5 g de café oro ; MG = matière grasse/grasa ; 1, 2, 3, 4 = répétitions/replicaciones.

Tableau 4. Matrice de corrélations entre données chimiques et granulométrie pour les cafés Catuai et Bourbon. / *Matriz de correlaciones entre datos químicos y granulometría para los cafés Catuai y Borbón.*

	CHL	CAF	TRI	SAC	MG	pH	ACID
CATUAI							
T 12	0,122	- 0,835	-0,627	- 0,663	0,920	0,829	- 0,933
T 14	- 0,003	- 0,832	- 0,593	- 0,773	0,832	0,914	- 0,957
T 16 +18	0,024	0,840	0,606	0,758	0,859	- 0,907	0,963
BOURBON BORBÓN							
T 12	- 0,309	0,178	0,209	0,110	0,103	- 0,244	0,150
T 14	- 0,531	- 0,076	- 0,280	0,176	0,290	- 0,022	- 0,121
T 16 +18	0,611	0,019	0,196	- 0,137	- 0,249	0,099	0,071

CHL = acides chlorogéniques/ácidos clorogénicos ; CAF = caféine/cafeína ; TRI = trigonelline/trigonelina ; SAC = saccharose/ sacarosa ; MG = matière grasse/grasa ; ACID = acidité exprimée en ml de NaOH 0,1N/5 g de café vert/acidez expresada en ml de NaOH 0,1N/5 g de café oro ; T = tamis/tamiz.

Tableau 5. Distances de Mahalanobis entre groupes correspondant aux différentes altitudes et variétés (analyses chimiques).
Distancias de Mahalanobis entre grupos que corresponden a las diferentes altitudes y variedades (análisis químicas).

N°	1	2	3	4
1	0,0000			
2	2,7368	0,0000		
3	2,8151	2,7254	0,0000	
4	2,7816	2,7966	2,7912	0,0000

Groupes / Grupos
 1 : Catuai 1 100 m
 2 : Bourbon/Borbón 1 100 m
 3 : Bourbon/Borbón 1 400 m
 4 : Catuai 1 400 m

Tableau 6. Caractéristiques organoleptiques des cafés Bourbon et Catuai en fonction de l'altitude. / *Características organolépticas de los cafés Borbón y Catuai acorde a la altitud.*

ALTITUDE ALTITUD	ARO	CORPS	ACID	AME	AST	AIGRE	MET	PRE
BOURBON BORBÓN								
1 100 m								
1	3,3	2,5	3,5	2,5	2,2	2,0	1,0	3,3
2	3,0	2,7	3,5	2,0	2,3	2,0	0,8	3,3
3	3,2	3,0	3,3	2,7	2,7	1,3	0,8	2,5
4	3,2	3,0	2,8	2,7	2,0	1,0	0,0	3,5
Moyenne Promedio	3,2	2,8	3,3	2,5	2,3	1,6	0,7	3,2
1 400 m								
1	3,3	2,3	3,0	2,5	2,3	1,7	0,3	3,3
2	2,8	2,3	3,3	2,3	2,3	1,0	0,8	2,5
3	3,2	2,8	2,5	2,8	2,3	1,0	0,0	3,0
4	3,0	2,7	3,3	2,0	2,2	1,5	1,0	3,2
Moyenne Promedio	3,1	2,5	3,0	2,4	2,3	1,3	0,5	3,0
CATUAI								
1 100 m								
1	3,0	2,1	2,4	2,0	1,9	1,0	0,7	3,1
2	2,9	2,3	3,0	2,0	2,4	1,4	1,1	3,1
3	3,1	2,7	3,6	2,1	1,9	1,4	1,4	2,6
4	3,1	1,9	3,3	2,3	2,3	1,3	0,6	3,0
Moyenne Promedio	3,0	2,3	3,1	2,1	2,1	1,3	1,0	3,0
1 400 m								
1	2,7	2,1	2,7	2,1	1,7	0,7	0,6	3,1
2	2,9	2,0	3,1	2,1	2,6	1,7	0,9	3,1
3	3,3	2,7	3,1	2,1	2,0	1,3	0,9	3,3
4	2,9	2,1	3,3	2,0	1,9	0,9	0,4	3,3
Moyenne Promedio	3,0	2,2	3,1	2,1	2,1	1,2	0,7	3,2

ARO = arôme/aroma ; CORPS = corps/cuerpo ; ACID = acidité/acidez ; AME = amertume/ amargura ; AST = astringence/astringencia ;
 AIGRE = aigre/agrio ; MET = métallique/metálico ; PRE = préférence/ preferencia ; 1, 2, 3, 4 = répétitions/replicaciones.

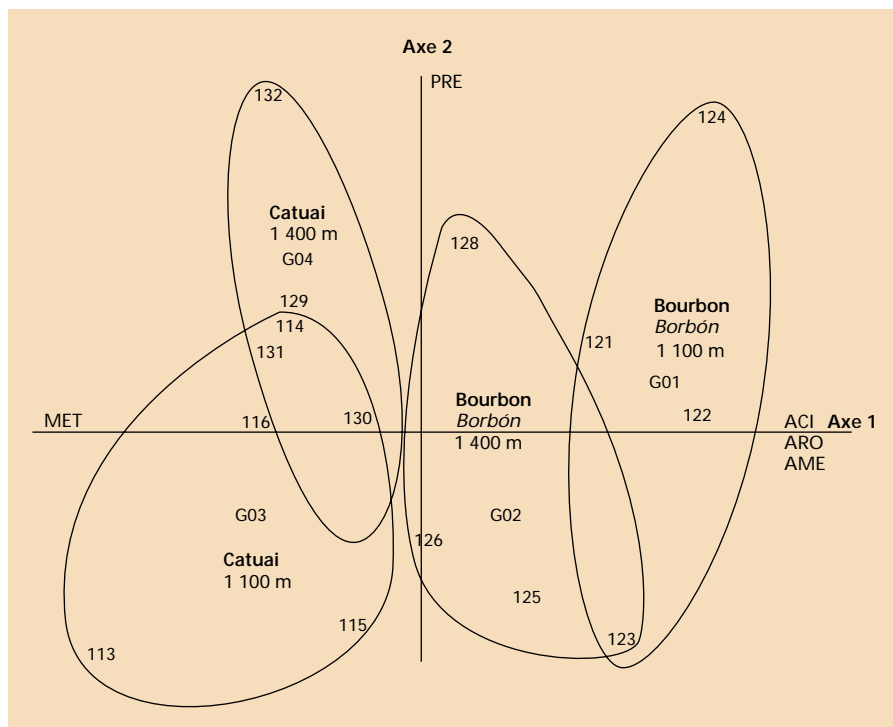


Figure 3. Analyse factorielle discriminante effectuée à partir des données organoleptiques. Critères de groupe variété et altitude. / *Análisis factorial discriminante realizado a partir de los datos organolépticos. Criterios de grupo variedad y altitud.*

ARO = arôme/aroma ; ACID = acidité exprimée en ml de NaOH 0,1N/5 g de café vert/ *acida expresada en ml de NaOH 0,1N/5 g de café oro* ; AME = amertume/amargura ; MET = métallique/metalico ; PRE = préférence/prerferencia

L'analyse factorielle discriminante (AFD), effectuée sur l'ensemble des données organoleptiques, en prenant comme critère de groupe l'altitude et la variété, soit 4 groupes (figure 3), montre que 68,8 % des échantillons sont bien classés. L'axe 1 représente la plupart des propriétés organoleptiques sauf la préférence qui est une caractéristique de l'axe 2. Cette représentation confirme le comportement différent entre Catuai et Bourbon séparés par l'axe 2.

Les groupes représentant les variétés sont séparés suivant l'axe 1 (acidité, arôme) ; les groupes représentant l'altitude sont séparés suivant l'axe 2 (préférence), cette séparation étant plus faible dans le cas des cafés Bourbon que dans le cas des cafés Catuai. Les distances de Mahalanobis entre groupes représentant les variétés sont plus importantes que les distances entre groupes représentant l'altitude au sein d'une même variété (tableau 7). Il en résulte donc que les diffé-

rences induites par la variété sont plus importantes que celles produites par l'altitude.

Ces résultats mettent seulement en évidence des tendances :

- Le Catuai à 1 400 m est préféré au Catuai à 1 100 m avec une acidité comparable ;
- Le Bourbon à 1 100 m est plus acide que le Bourbon à 1 400 m avec une préférence identique.

Comparaison des effets de l'altitude et de l'ombrage

Les résultats de l'analyse en composantes principales effectuée sur les teneurs des différents constituants chimiques des échantillons de café Catuai montrent que ceux-ci sont parfaitement séparés en fonction des conditions d'altitude et d'ombrage (figure 4). Dans le cadre d'une représentation plane, l'axe 1 horizontal correspond aux teneurs en acidité, matière grasse, caféine et saccharose, l'axe 2 vertical aux teneurs en trigonelline et acides chlorogéniques. D'après cette représentation, l'influence induite par l'ombrage sur la composition chimique des fèves de café est plus faible que celle induite par l'altitude. L'axe 1 sépare les groupes en fonction de l'altitude, l'axe 2 en fonction de l'ombrage pour une même altitude.

L'analyse en composantes principales, effectuée sur les teneurs des différents constituants chimiques des échantillons de café Catuai et Bourbon en fonction des conditions d'ombrage et d'altitude (figure 5), montre que les cafés Catuai et Bourbon ont un comportement identique à basse altitude (1 100 m) et avec ombrage. Ce comportement diffère à 1 400 m et avec ombrage ; la séparation des groupes se fait suivant l'axe 2 représentatif des teneurs en acides chlorogéniques et trigonelline. La séparation des 2 groupes représentant les différents cafés Bourbon en fonction de l'altitude se fait suivant les axes 1

Tableau 7 : Distance de Mahalanobis entre groupes représentant l'altitude et la variété (analyses organoleptiques). / *Distancia de Mahalanobis entre grupos que representan la altitud y la variedad (análisis organolépticas).*

N°	1	2	3	4
1	0,0000			
2	1,4785	0,0000		
3	2,4077	1,7436	0,0000	
4	2,1796	1,7709	1,4363	0,00000

Groupes / *Grupos*

1 : Catuai 1 100 m

2 : Bourbon / *Borbón* 1 100 m

3 : Bourbon / *Borbón* 1 400 m

4 : Catuai 1 400 m

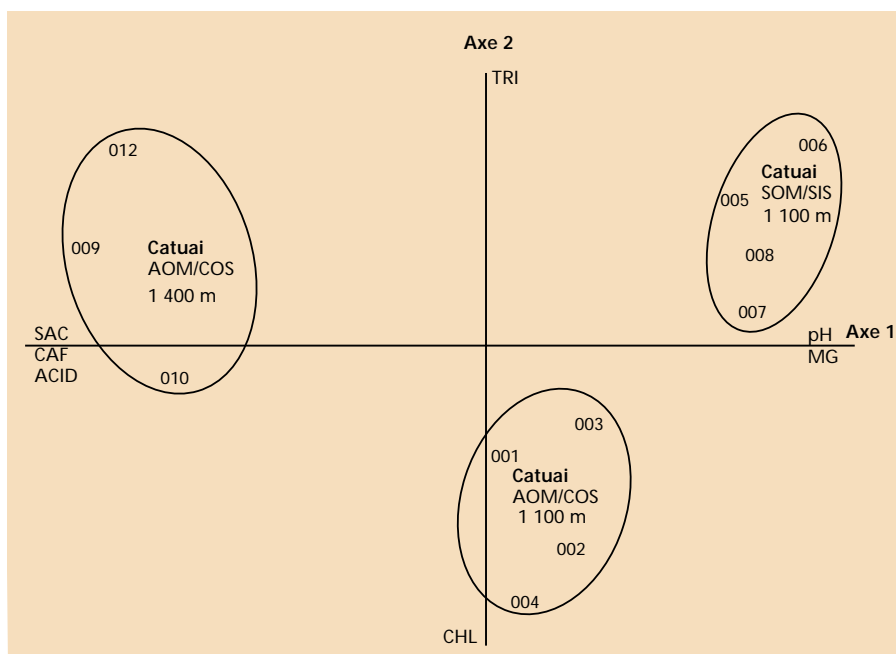
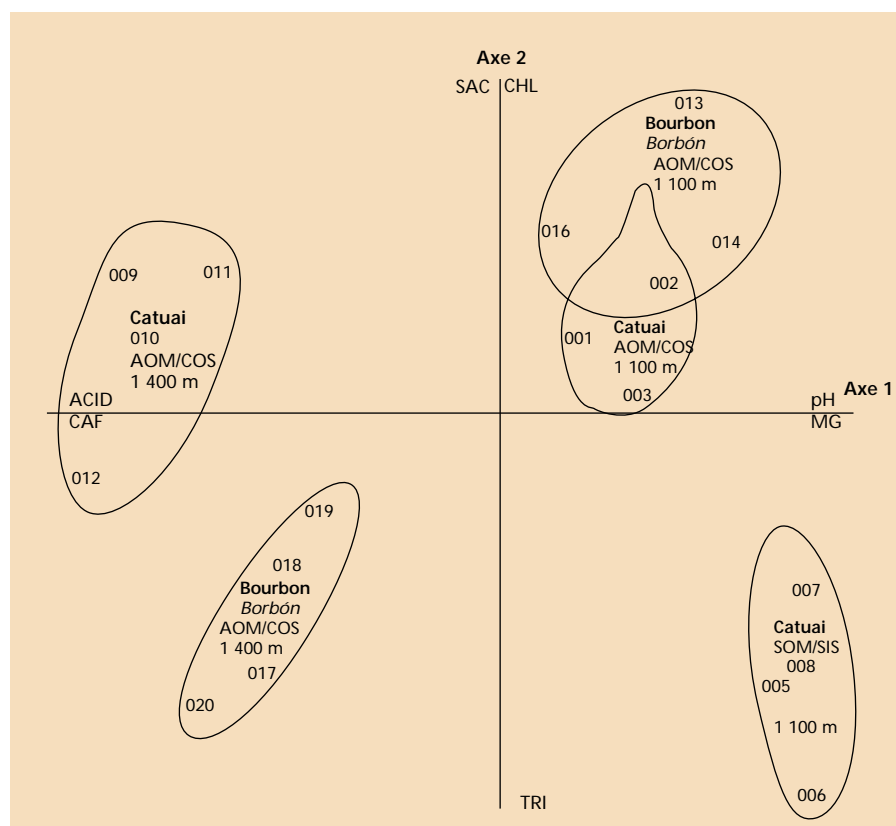


Figure 4. Analyse en composantes principales effectuée à partir des données chimiques. Influence de l'altitude et de l'ombrage. / *Análisis de componentes principales realizado a partir de los datos químicos. Influencia de la altitud y de la sombra.*

AOM/COS = avec ombrage/ con sombra; SOM/SIS = sans ombrage/ sin sombra;

CHL = acides chlorogéniques/ ácidos clorogénicos; CAF = caféine/ cafeína;

TRI = trigonelline/ trigonelina; SAC = saccharose/ sacarosa; MG = matière grasse/ grasa; ACID = acidité exprimée en ml de NaOH 0,1N/5 g de café vert/ acidez expresada en ml de NaOH 0,1N/5 g de café oro.



et 2 alors que celle des groupes représentant les cafés Catuai se fait uniquement suivant l'axe 1, représentatif des teneurs en acidité, matière grasse et caféine. Dans nos conditions expérimentales (cueillette de cerises légèrement immatures à 1 400 m pour le Bourbon), l'altitude semble être un paramètre plus important pour les cafés Bourbon que pour les cafés Catuai.

Le groupe représentant les cafés Catuai sans ombrage est nettement séparé des autres groupes avec ombrage à différentes altitudes, ce qui montre une composition chimique différente des fèves de café vert. Ceci confirme les résultats précédemment exposés pour les cafés Catuai seuls.

L'analyse en composantes principales effectuée sur les caractéristiques des tests organoleptiques ne permet pas de distinguer l'influence de l'ombrage de celle de l'altitude.

Conclusions

Cette étude met en évidence, de manière objective, l'influence de l'ombrage et de l'altitude sur la granulométrie et la composition chimique des cafés verts Bourbon et Catuai. Les résultats montrent également que cette influence dépend de la variété. L'ombrage et l'altitude, en retardant la maturité, permettent, du point de vue physiologique, une amélioration de la qualité, surtout pour le café Catuai qui se traduit par une augmentation de l'acidité et de la teneur en sucres, ces composés étant des facteurs importants pour la formation de l'arôme.

L'augmentation de l'acidité en fonction de l'altitude est une observation déjà décrite, en revanche l'augmentation de la teneur en caféine et la diminution de la teneur en matière grasse en fonction de l'altitude sont des faits nouveaux. L'augmentation de la teneur en caféine en fonction de l'altitude a été observée récemment en laboratoire sur des cafés Cati-mor, Catuai et Caturra du Costa Rica.

Figure 5. Analyse en composantes principales effectuée à partir des données chimiques. Influence de l'altitude et de l'ombrage. / *Análisis de componentes principales realizado a partir de los datos químicos. Influencia de la altitud y de la sombra.*

AOM/COS = avec ombrage/ con sombra;

SOM/SIS = sans ombrage/ sin sombra; CHL = acides chlorogéniques/ ácidos clorogénicos;

CAF = caféine/ cafeína; TRI = trigonelline/

trigonelina; SAC = saccharose/ sacarosa;

MG = matière grasse/ grasa; ACID = acidité

exprimée en ml de NaOH 0,1N/5 g de café vert / acidez expresada en ml de NaOH 0,1N/5 g de café oro.

B. Guyot



Caféière sous ombrage. / Cafetal debajo sombra.

Si les différences sont nettes pour les compositions chimiques des cafés verts Bourbon et Catuai en fonction de l'altitude et de l'ombrage, les résultats obtenus à partir des tests organoleptiques sont moins significatifs. On observe une grande hétérogénéité des résultats entre les différentes répétitions, sans raison apparente, ce qui signifie que le dispositif adopté pour contrôler la torréfaction et réali-

ser les tests organoleptiques devra être modifié.

Les analyses organoleptiques montrent peu de différences significatives en fonction de l'altitude pour les cafés Bourbon. Pour les cafés Catuai, l'altitude jouerait un rôle plus important ; en particulier les cafés de haute altitude (1 400 m) seraient préférés à ceux de plus basse altitude (1 100 m). Cette observation

confirme donc le comportement différent des cafés Bourbon et Catuai aussi bien verts que torréfiés.

L'ombrage est peu influent au niveau organoleptique, sauf pour l'amertume où une différence significative est observée ; les cafés cultivés sans ombrage sont les plus amers ce qui renforce l'importance de l'ombrage pour la qualité. Un excès d'amertume est préjudiciable pour la qualité des cafés Arabica.

Au point de vue de la qualité, cette étude montre que :

- l'altitude et l'ombrage sont deux facteurs qui améliorent la qualité des variétés Bourbon et Catuai ;
- ces variétés se comportent de façon presque identique à 1 100 m mais, à 1 400 m, la variété Catuai est plus précoce que la variété Bourbon.

Ces observations devront être placées dans un contexte agronomique plus large en évaluant par exemple l'influence de l'altitude et de l'ombrage sur les rendements ou sur l'état phytosanitaire des caféières. Certains auteurs comme Lambot (1988) constatent que l'ombrage déprime la production ; cependant, cette observation ne doit pas être généralisée car d'après ce même auteur cette perte de production varie suivant le lieu et la nature de l'ombrage. ■

Bibliographie / Bibliografía

- ARCILA P.J., VALENCIA A.G., 1975. Relación entre la actividad de la polifenol oxidasa (PFO) y las pruebas de catación como medidas de la calidad de la bebida del café. *Cenicafé* 26 (2) : 55-71.
- CANNELL M.G.R., 1974. Factors affecting arabica coffee bean size in Kenya. *J. Hort. Sci.* 49 : 65-76.
- CAVALETTO C.G., NAGAI N.Y., BITTENBENDER H.C., 1992. Yield, size and cup quality of coffees grown in the Hawaii State coffee trial. *In* : 14^e Colloque scientifique international sur le café, San Francisco, Etats-Unis, 14-19 juillet 1991. Paris, France, ASIC. p. 674-678.
- CLIFFORD M.N., WILSON K.C., 1987. *Coffee: Botany, Biochemistry and production of bean and beverage*. London, Croom Helm. p. 457.
- GOPAL N.H., D'SOUZA G.I. 1977. Some aspects of quality in Indian coffee. *Indian Coffee* 41 (1) : 14-16.
- GUYOT B., 1995. Influence de l'ombrage et de l'altitude sur les caractéristiques chimiques et organoleptiques des cafés Bourbon et Catuai. Montpellier, France, CIRAD-CP, 85 p. (document interne).
- GUYOT B., PETNGA E., VINCENT J.C., 1988. Analyse qualitative d'un café *Coffea canephora* var. Robusta en fonction de la maturité. Partie I. Evolution des caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques. *Café Cacao Thé* 32 (2) : 127-139.
- LAMBOT C., 1988. Les acquis de la recherche sur *Coffea arabica* L. dans la région des Grands Lacs (Zaïre-Rwanda-Burundi). *Revue bibliographique*. Bujumbura, Burundi, ISABU, 132, 53 p.
- PETNGA E., 1986. Application de l'analyse multidimensionnelle à la classification qualitative du café Robusta en fonction de la maturité. Thèse de 3^e cycle, université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, France, 141 p.
- REIS A.C.S., 1981. Sombreamento do cafeeiro em Pernambuco. *In* : 9^o Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, São Lourenço, Minas Gerais, Brésil, 27-30 octobre 1981. Rio de Janeiro, Brésil, IBC-GERCA, p. 303.
- ROE J.D.M., WHITAKER M.J., 1985. Management practices and coffee productivity within the estate sector. *Kenya Coffee* 50 (585) : 325-345.
- TEIXEIRA A.A., CARVALHO A., FAZUOLI L.C., 1979. Avaliação da bebida e outras características de cultivares de *Coffea canephora* e *Coffea congensis*. *Bragantia* 38 (5) : 37-46.
- SOENARYO, SURIP, 1987. Silosanen Robusta Coffee Estate: better farming technique for higher yield and better quality. *Indian Coffee* 51 (6-7) : 3-7.

Influencia de la altitud y de la sombra sobre la calidad de los cafés Arabica

Guyot B.¹, Gueule D.¹, Manez J.C.¹, Perriot J. J.¹, Giron J.², Villain L.²

¹ CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, Francia

² ANACAFE, 5a. Calle 0-50, Zona 14, Avenida de las Américas, Guatemala City, Guatemala

Numerosos parámetros agronómicos, genéticos y tecnológicos contribuyen en la calidad del café. Asimismo, la altitud y la sombra, que intervienen en las condiciones de cultivo y de madurez, son reconocidas por tener una relevante influencia sobre la calidad de los cafés Arabica (Gopal y D'Souza, 1977; Teixeira *et al.*, 1979; Clifford y Wilson, 1987; Cavaletto *et al.*, 1992). Esta influencia también fue discutida y evaluada por Cannell (1974).

Los estudios realizados hasta ahora han concernido esencialmente a la agronomía y a la producción (Reis, 1981; Roe y Whitaker, 1985). Pero no se ha evaluado su influencia sobre la calidad final, excepto en ciertos casos y únicamente a partir de pruebas organolépticas (Arcila y Valencia, 1975; Soenaryo y Surip, 1987). Además, al realizar estos trabajos, no se conoce siempre con precisión el origen de las muestras de café analizadas. El hecho de no tener información sobre la variedad (cultivar) y sobre las condiciones de preparación (duración de la fermentación, duración y modo de secado, etc.) no permite una explotación rigurosa de los resultados.

Hasta ahora, no se han estudiado de manera precisa y sistemática la composición química y bioquímica de los granos de café oro y sus variaciones conforme a la altitud y la sombra, y sólo se han realizado análisis que caracterizan la acidez (Cavaletto *et al.*, 1992).

La experimentación implantada en colaboración con ANACAFE¹ en Guatemala sometió a prueba:

- dos variedades (Borbón y Catuai), bajo sombra de Inga, a 1 100 y 1 400 m de altitud;
- una variedad (Catuai) con y sin sombra, a la altitud de 1 100 m.

La influencia de estos parámetros fue medida en café oro y en el correspondiente café tostado. Las condiciones experimentales no permitieron evaluar los rendimientos por árbol y la producción de las diferentes parcelas.

Materiales y métodos

Preparación de las muestras de café oro

El lugar de cosecha de la cereza fue escogido por ANACAFE de acuerdo a criterios y limitaciones impuestas por el estudio (especialmente selección de parcelas que recibieron los mismos tratamientos agronómicos) para la preparación de las muestras de café oro. Las muestras de cerezas provienen de parcelas perfectamente identificadas de la finca La Concepción, (2 000 ha de las cuales 400 sembradas con café), municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa, ubicado a 80 km al este de Ciudad de Guatemala, y a 30 km de la estación experimental de ANACAFE, Las Flores (mapa), donde se prepararon por vía húmeda las muestras de café oro (despulpado, fermentación y secado).

Para el estudio de la altitud y de la sombra, se realizaron 4 réplicas. Las condiciones experimentales se describen en un informe más detallado sobre este estudio (Guyot, 1995).

Caracterización de las muestras

Se estudiaron las diferencias inducidas por la altitud y la sombra en:

- el café oro, mediante análisis tecnológico (granulometría) y análisis químico: azúcares, acidez (ácidos orgánicos totales, pH), ácidos clorogénicos, cafeína, trigonelina. Los análisis químicos se realizan después de triturado y cribado (Guyot *et al.*, 1988);
- el café tostado, mediante pruebas organolépticas. Después del tostado controlado por el balance de tostado (pérdida de peso y medida de color), un jurado de 8 panelistas prueban las muestras. Los principales atributos (aroma, astringencia, amargura y acidez) se estiman comparando contra muestras testigos.

Resultados y discusión

Influencia de la sombra (Catuai)

Análisis físico

Se calibraron las muestras de café oro Catuai (figura 1) con tamices de abertura de 12, 14, 16 y

18 (1/64 de pulgada). La parte de las muestras inferior al tamiz de 12 corresponde en gran parte a granos fragmentados (aproximadamente el 2 %). Estos resultados muestran que la sombra (COS) favorece levemente una mejor granulometría. El rechazo acumulado sobre los tamices 16 y 18 es del 69 % con sombra contra el 65 % sin sombra (SIS). Una madurez más lenta, causada por la sombra, favorece por lo tanto un mejor desarrollo de los granos de café oro.

Análisis químico

Según los análisis (cuadro 1), la sombra incrementa el contenido de ácidos clorogénicos (+ 10 %), la acidez estimada por el pH, la acidez total (aproximadamente + el 16 %), los contenidos de cafeína (+ 4 %) y de sacarosa (+ 3 %). En cambio, disminuye el contenido de trigonelina (aproximadamente - 10%); los contenidos de grasa permanecen constantes.

Los análisis de varianza realizados en diferentes constituyentes químicos respecto a la sombra resultan significativos salvo para el contenido de grasa.

El cuadro 2 revela interesantes correlaciones entre análisis químico y granulometría. Asimismo, existe buena correlación entre la granulometría (suma de los rechazos sobre los tamices de 16 y 18) y el contenido de sacarosa (0,78). La acidez (0,67) y el pH (- 0,79) también se correlacionan con la granulometría. La sombra, al favorecer una mejor granulometría, aumenta por lo tanto el contenido de sacarosa y la acidez. Este resultado es importante para la calidad final puesto que estos dos constituyentes son precursores del aroma y contribuyen activamente en las reacciones de Maillard durante la torrefacción del café.

Análisis organolépticos

Entre los atributos evaluados mediante las pruebas organolépticas, sólo la amargura varía significativamente con respecto a la sombra. Los cafés tostados que corresponden a los cafés verdes cultivados con sombra son menos amargos (aproximadamente el 18 %) que las muestras sembradas sin sombra. También son levemente más ácidos pero este criterio no es significativo de acuerdo con el análisis de varianza. Esta observación es importante, dado

¹ Asociación Nacional del Café

que un exceso de amargura perjudica la calidad de los cafés Arabica.

Los demás criterios: la acidez, el cuerpo, la astringencia y el aroma parecen ser independientes de la sombra.

El análisis de componentes principales, realizado en los valores de las características organolépticas, indica que las muestras con sombra tienen una representación en el plano, relativamente agrupada; en cambio, aquella de las muestras sin sombra es muy dispersa. Este último comportamiento explica, en parte, la ausencia de diferencias significativas entre las características organolépticas con respecto a la sombra. Se puede, igualmente, concebir la idea de que la sombra favorece una madurez más homogénea para una misma parcela, mientras que la ausencia de sombra induce niveles de madurez diferentes en el momento de la cosecha, que se traducen en una heterogeneidad al nivel de la calidad del café.

Influencia de la altitud (Catuai y Borbón)

Análisis físico (figura 2)

Para el Borbón, el rechazo sobre el tamiz de 12 está constituido de gruesos fragmentos mientras que la parte bajo el tamiz corresponde a fragmentos pequeños. El rechazo sobre tamiz 14 corresponde esencialmente a caracol. Para el Catuai, el rechazo sobre el tamiz 12 está constituido de pequeños granos y caracol, la parte bajo el tamiz 12 corresponde a fragmentos.

Para el Catuai, la altitud tiene un efecto importante en la granulometría en el rechazo acumulado sobre los tamices 16 y 18 (87,7 % a 1 400 m contra 68,8 % a 1 100 m). Este efecto no es significativo para el Borbón (85 % cualquiera que sea la altitud).

Para el Catuai, el efecto de la altitud en el tamaño de los granos es superior a aquel de la sombra; al retrasar la madurez, permite un mejor desarrollo de los granos, lo que se traduce en una mayor granulometría. Esto no se aplica al café Borbón, el factor madurez es independiente de la altitud en nuestras condiciones de experimentación, entre 1 100 m y 1 400 m. Sin embargo, estas observaciones deberían ser ponderadas por los rendimientos o la producción por árbol; asimismo, en el caso del café Catuai, una mayor granulometría puede corresponder a una disminución de rendimiento.

Análisis químico (cuadro 3)

Para el Borbón y el Catuai, la altitud tiene la misma influencia en el contenido de ciertos constituyentes químicos; su papel es:

- aumentar fuertemente la acidez (+ 25 %), el contenido de cafeína (+ 10 %) y ligeramente el contenido de trigonelina;
- disminuir el contenido de grasa (- 12,5 %).

Para la sacarosa, constituyente clave de la madurez, la influencia de la altitud cambia acorde a la variedad: aumenta el contenido de sacarosa (+ 10 %) para el Catuai, pero disminuye para el Borbón (- 11%). Esta observación confirma el aumento de la granulometría observada en el caso del Catuai. La altitud no disminuye significativamente el contenido de ácidos clorogénicos (- 5 %) para el Borbón, mientras que para el Catuai el contenido permanece constante.

El cuadro 4 evidencia las correlaciones que existen entre el análisis químico y los datos granulométricos. Para el café Catuai, existen buenas correlaciones entre la granulometría (suma de los rechazos sobre tamices 16 y 18), el contenido de sacarosa (0,76) y la acidez (acidez total 0,96, pH - 0,91). Estas correlaciones confirman, por lo tanto, que la altitud, como la sombra, al favorecer para el Catuai una mejor granulometría, permite, desde el punto de vista químico, un aumento del contenido de sacarosa y de la acidez. Este hecho resulta importante dado que estos dos factores contribuyen fuertemente a la formación del aroma durante el tostado. La altitud y la sombra tendrían, por lo tanto, una misma influencia en la composición química de los granos del Catuai.

Las correlaciones entre las demás variables químicas no permiten sacar conclusiones en cuanto a la influencia de la altitud en la calidad de los granos, salvo en lo que concierne a la acidez y el contenido de sacarosa, cuya correlación es de 0,76. Esta observación, descrita por Cavaletto *et al.* (1992), confirma la influencia benéfica de la altitud en la composición química de los granos de Catuai.

Para los cafés Borbón (cuadro 4) no se observan correlaciones significativas entre la granulometría (suma de los rechazos sobre tamices 16 y 18) y ciertos constituyentes químicos salvo con los ácidos clorogénicos (0,61). Se observó este resultado en el caso de café Robusta cosechado inmaduro (Petnga, 1986). Las correlaciones entre ciertas variables químicas confirman este resultado, por ejemplo, entre sacarosa y acidez la correlación es de 0,98 en lugar de 0,78 para el café Catuai.

El factor altitud no parece desempeñar el mismo papel para el café Borbón que para el café Catuai. Esta diferencia de comportamiento podría tener dos orígenes:

- para el café Catuai, la altitud retrasa la madurez de manera significativa, de allí un desarrollo más completo de los granos; lo cual se traduce en una mayor granulometría en un contenido mayor de sacarosa y un valor más alto de acidez;
- para el café Borbón, una cosecha de cerezas ligeramente inmaduras a 1 400 m sería responsable de los resultados logrados (especialmente características idénticas de la

granulometría y un contenido de sacarosa más bajo), dado que los granos no estarían lo suficientemente maduros desde el punto de vista fisiológico. No se debe rechazar tampoco un problema de secado para estas muestras que presentan un contenido de agua relativamente alto; también puede considerarse una posible degradación de la sacarosa causada por malas condiciones atmosféricas durante el secado.

El análisis factorial discriminante (AFD), realizado al tomar como criterio de grupo 2 altitudes y 2 variedades o sea 4 grupos, muestra el 100 % de individuos bien clasificados. Esta clasificación está confirmada por las distancias de Mahalanobis equivalentes entre los 4 grupos así constituidos (cuadro 5).

Análisis organolépticos

Los valores de los atributos organolépticos varían poco de acuerdo a la altitud, y los análisis de varianza realizados no muestran diferencias significativas tanto para los cafés Borbón como para los cafés Catuai (cuadro 6).

El análisis factorial discriminante (AFD), realizado en todos los datos organolépticos, tomando como criterio de grupo la altitud y la variedad, o sea 4 grupos (figura 3), muestra que el 68,8 % de las muestras se hallan efectivamente bien clasificadas. El eje 1 representa la mayoría de las propiedades organolépticas salvo la preferencia que es una característica del eje 2. Esta representación confirma la diferencia entre el comportamiento de Catuai y Borbón separados por el eje 2.

Los grupos que representan las variedades están separados siguiendo el eje 1 (acidez, aroma); los grupos que representan la altitud se encuentran separados conforme al eje 2 (preferencia), siendo menor esta separación en el caso de los cafés Borbón que en el caso de los cafés Catuai. Las distancias de Mahalanobis entre los grupos que representan las variedades son más importantes que las distancias entre grupos que representan la altitud dentro de una misma variedad (cuadro 7). Resulta de ello por lo tanto que las diferencias inducidas por la variedad son más importantes que las producidas por la altitud.

Estos resultados evidencian solamente tendencias:

- el Catuai a 1 400 m se prefiere al Catuai a 1 100 m con una acidez comparable;
- el Borbón a 1 100 m es más ácido que el Borbón a 1 400 m a un mismo nivel de preferencia.

Comparación de los efectos de la altitud y de la sombra

Los resultados del análisis de componentes principales realizado en los contenidos de los diferentes constituyentes químicos de las muestras de café Catuai muestran que están

perfectamente separados conforme a las condiciones de altitud y de sombra (figura 4). En el marco de una representación plana, el eje 1 horizontal corresponde a los contenidos de acidez, grasa, cafeína, y sacarosa, el eje 2 vertical a los contenidos de trigonelina y ácidos clorogénicos. Según esta representación, la influencia inducida por la sombra en la composición química de los granos de café es más baja que aquella inducida por la altitud. El eje 1 separa los grupos conforme a la altitud, el eje 2 acorde a la sombra para una misma altitud.

El análisis de componentes principales, realizado en los contenidos de los diferentes constituyentes químicos de las muestras de café Catuai y Borbón, según condiciones de sombra y de altitud (figura 5), muestra que los cafés Catuai y Borbón tienen un comportamiento idéntico en baja altitud (1 100 m) y con sombra. Este comportamiento difiere a 1 400 m y con sombra; la separación de los grupos se realiza según el eje 2 representativo de los contenidos de ácidos clorogénicos y trigonelina. La separación de los dos grupos que representan los diferentes cafés Borbón conforme a la altitud se realiza según los ejes 1 y 2, mientras que la de los grupos que representan los cafés Catuai se realiza únicamente según el eje 1, representativo de los contenidos de acidez, grasa y cafeína. En nuestras condiciones experimentales (cosecha de cerezas ligeramente inmaduras a 1 400 m para el Borbón), la altitud parece ser un parámetro más importante para los cafés Borbón que para los cafés Catuai.

El grupo que representa los cafés Catuai sin sombra está nítidamente separado de los demás grupos con sombra en diferentes altitudes, lo que muestra una composición química diferente

de los granos de café oro. Esto confirma los resultados previamente expuestos para los cafés Catuai solos.

El análisis de componentes principales realizado en los atributos de las pruebas organolépticas no permite distinguir la influencia de la sombra de la de altitud.

Conclusiones

Este estudio pone en evidencia, de manera objetiva, la influencia de la sombra y de la altitud en la granulometría y la composición química de los cafés verdes Borbón y Catuai. Los resultados muestran también que esta influencia depende de la variedad. La sombra y la altitud, al retrasar la madurez, permiten, desde el punto de vista fisiológico, un mejoramiento de la calidad, sobre todo para el café Catuai que se traduce por un aumento de acidez y del contenido de azúcares, siendo estos compuestos factores importantes para la formación del aroma.

El aumento de la acidez conforme a la altitud es una observación descrita ya; en cambio, el aumento del contenido de cafeína y la disminución del contenido de grasa conforme a la altitud son hechos nuevos. El incremento del contenido de cafeína conforme a la altitud fue observado recientemente en laboratorio en cafés Catimor, Catuai y Caturra de Costa-Rica.

Si las diferencias son nítidas para las composiciones químicas de los cafés verdes Borbón y Catuai conforme a la altitud y la sombra, los resultados logrados a partir de las pruebas organolépticas son menos significativos. Se observa una gran heterogeneidad de los resultados entre las diferentes réplicas, sin razón aparente, lo que significa que tendrá que modificarse el dispositivo adoptado para

controlar el tostado y realizar las pruebas organolépticas.

Los análisis organolépticos muestran pocas diferencias significativas conforme a la altitud para los cafés Borbón. Para los cafés Catuai, la altitud desempeñaría un papel más importante; se preferirían los cafés de gran altitud (1 400 m) a los de menor altitud (1 100 m). Esta observación confirma, por lo tanto, el comportamiento diferente de los cafés Borbón y Catuai tanto en verde como en tostado.

La sombra tiene poca influencia al nivel organoléptico, salvo para la amargura donde se observa una diferencia significativa; los cafés cultivados sin sombra son más amargos, lo que acentúa la importancia de la sombra para la calidad. Un exceso de amargura resulta perjudicial para la calidad de los cafés Arabica.

Desde el punto de vista de la calidad, este estudio muestra que:

- la altitud y la sombra son dos factores que mejoran la calidad de las variedades Borbón y Catuai;
- estas variedades se comportan de manera casi idéntica a 1 100 m pero a 1 400 m, la variedad Catuai resulta más precoz que la variedad Borbón.

Estas observaciones tendrán que situarse en un contexto agronómico de mayor amplitud al evaluar, por ejemplo, la influencia de la altitud y de la sombra en los rendimientos o en el estado fitosanitario de los cafetales. Algunos autores como Lambot (1988) constatan que la sombra disminuye la producción; sin embargo, esta observación no debe generalizarse dado que según este mismo autor, la pérdida de producción varía según el lugar y la naturaleza de la sombra.■