p-ISSN:
e-ISSN:
NEI Volume 1 No 1 Desember 2025
NUSANTARA ENGINEERING INSIGHT
Engineering and Agroindustry Journal
Journal Homepage: nrri-journal.com/index.php/nei-j

Analisis *Fruit Removal Force* (FRF) Buah Kopi Robusta di Desa Pakis, Sukorambi, Jember

(*Analysis of Fruit Removal Force (FRF) of Robusta Coffee (Coffea canephora) in Pakis Village, Sukorambi, Jember*)

Agus Suparyono[1], Muhammad Taufiq[2*], Irfan Abidin[3], Tri Yaninta Ginting[4]
[1] Laboratorium Instrumentasi dan Konservasi Lingkungan Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Jember, Indonesia. aghe_6b.ftp@unej.ac.id
[2] Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Indonesia. taufiqmuhammad@unej.ac.id
[3] Laboratorium Teknik Pangan dan Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Jember, Indonesia. irfanabidin11@gmail.com
[4] Jurusan Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Indonesia. triyanintaginting@dosen.pancabudi.ac.id
* Corresponding Author: taufiqmuhammad@unej.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:
Received Juni 19, 2025
Revised September 12, 2025
Accepted November 1, 2025
Available online 1 December, 2025

Kata Kunci: Coffee fruit, fruit detachment force, fruit removal force, fruit ripeness level, robusta

This is an open access article under the CC BY-SA license. Copyright © 2025 by Author. Published by Nusantara Engineering Insight

A B S T R A K

Fruit Removal Force (FRF) is the force required to detach a coffee fruit from its stem, expressed in Newtons (N). This study aims to analyze the relationship between the fruit ripeness level and the FRF value of Robusta coffee. Measurements were conducted in a coffee plantation located in Jember Regency, East Java, using a modified tensile meter instrument. Three coffee plants were randomly selected, and from each plant, 90 fruit samples were collected representing three ripeness levels red, orange, and green resulting in a total of 270 coffee fruits. Data analysis using one-way ANOVA showed that based on the fruit color, the P-values for red (0.670), orange (0.796), and green (0.149) fruits were higher than the 5% significance level, indicating no significant differences among plants. However, the analysis based on plant samples showed P-values < 0.05, indicating significant differences among ripeness levels within each plant. The results revealed that as the coffee fruits ripen, the FRF value decreases, meaning that riper fruits require less force to detach from the stem.

1. PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan unggulan yang memiliki nilai ekonomi tinggi di Indonesia. Produksi kopi Indonesia menempati posisi penting dalam perdagangan global dan menjadi sumber pendapatan utama bagi petani di berbagai daerah (Lubis & Lubis, 2024; Tampubolon *et al.*, 2023). Jenis kopi yang banyak dibudidayakan di wilayah Jember adalah kopi robusta (*Coffea canephora*), yang mendominasi produksi nasional terutama pada dataran rendah (Nuraeni *et al.*, 2024). Produksi kopi robusta di wilayah ini berkontribusi terhadap peningkatan pendapatan petani dan mendukung keberlanjutan industri hilir, seperti pengolahan dan pemasaran produk kopi olahan (Suryana *et al.*, 2023). Proses pemanenan buah kopi merupakan tahapan penting yang menentukan mutu hasil panen. Pemilihan waktu panen yang tepat sangat berpengaruh terhadap kualitas fisik dan kimia biji kopi, termasuk cita rasa dan nilai jualnya (Velásquez & Banchón, 2023).

Faktor kematangan buah kopi memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik fisik dan mekanis buah. Perubahan warna kulit buah dari hijau menjadi oranye dan merah menandakan terjadinya perubahan fisiologis seperti degradasi klorofil, peningkatan kadar gula, dan penurunan kadar air (Baptistella *et al.*, 2024). Selain itu, tingkat kematangan juga memengaruhi kekuatan perlekatan buah terhadap tangkainya. Nilai gaya pelepasan buah, *Fruit Removal Force* (FRF) atau yang disebut juga dengan *Fruit Detachment Force* (FDF) menunjukkan besarnya gaya yang dibutuhkan untuk melepaskan buah dari tangkai (Meneses *et al.*, 2024). Nilai FRF yang rendah menandakan buah kopi lebih mudah terlepas, dan hal ini berkorelasi positif dengan tingkat kematangan (Santin *et al.*, 2023). Informasi mengenai perubahan FRF pada setiap tingkat kematangan penting untuk menentukan strategi panen yang efisien dan mengurangi kehilangan hasil (de Deus Godinho Filho *et al.*, 2025; Kazama *et al.*, 2021).

Pengukuran FRF dapat dilakukan menggunakan alat *digital tensile push-pull meter* untuk memperoleh data gaya tarik dalam satuan Newton (N) (Yu *et al.*, 2023). Penggunaan alat digital memungkinkan pengukuran yang akurat dan konsisten terhadap kekuatan mekanis buah. Faktor seperti sudut gaya, kecepatan tarikan, dan posisi pengukuran berpengaruh terhadap nilai FRF yang diperoleh (Godinho *et al.*, 2022). Oleh karena itu, penggunaan metode pengukuran yang tepat dapat meningkatkan akurasi analisis hubungan antara kematangan dan kekuatan pelepasan buah. Data FRF buah kopi dapat dijadikan acuan untuk menentukan waktu panen optimal, baik secara manual maupun mekanis (Zhou *et al.*, 2025).

Penelitian mengenai FRF buah kopi memiliki manfaat besar dalam pengembangan teknologi panen kopi modern (Godinho *et al.*, 2022; Meneses *et al.*, 2024). Data FRF dapat menjadi dasar perancangan alat pemanen kopi mekanis atau semi-mekanis yang disesuaikan dengan variasi kematangan buah (Cardona *et al.*, 2021). Pengetahuan mengenai variasi FRF pada berbagai tingkat kematangan membantu menentukan kebutuhan tenaga, gaya efektif, dan desain sistem pemetik yang optimal (de Deus Godinho Filho *et al.*, 2025; Santin *et al.*, 2023). Kajian ini mendukung peningkatan efisiensi tenaga kerja, pengurangan kerusakan buah saat panen, serta peningkatan produktivitas dan mutu hasil kopi (Afsah-Hejri *et al.*, 2022; Kazama *et al.*, 2021). Pemahaman tentang perilaku mekanis buah kopi sangat penting untuk mendukung modernisasi pertanian dan pengembangan teknologi panen berkelanjutan di perkebunan kopi (Bizimungu *et al.*, 2022).

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis *Fruit Removal Force* (FRF) buah kopi robusta pada setiap tingkat kematangan. Tingkat kematangan buah dikategorikan berdasarkan warna kulit buah, yaitu merah, oranye, dan hijau. Pengukuran dilakukan secara eksperimental menggunakan alat ukur gaya digital. Hasil analisis diharapkan dapat menunjukkan hubungan antara tingkat kematangan buah terhadap nilai FRF. Temuan penelitian ini diharapkan menjadi dasar dalam perancangan teknologi panen kopi yang efisien, selektif, dan berkelanjutan.

2. METODE

Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan pendekatan pengukuran langsung terhadap gaya pelepasan buah kopi dari tangkainya. Pengukuran FRF dilakukan pada tiga tanaman kopi yang dipilih secara acak (random sampling). Setiap tanaman kopi dipilih beberapa ranting yang telah menghasilkan buah kopi siap panen. Pengukuran dilakukan terhadap masing-masing 30 buah kopi berwarna merah, oranye, dan hijau, sehingga total sampel pada satu tanaman kopi adalah 90 buah. Jumlah total pengukuran untuk tiga tanaman kopi adalah 270 percobaan.

Analisis data dilakukan menggunakan metode statistik ANOVA satu faktor (single factor ANOVA). Analisis pertama dilakukan untuk membandingkan warna buah kopi merah, oranye, dan hijau terhadap tiga tanaman kopi (tanaman 1,

tanaman 2, dan tanaman 3). Analisis kedua dilakukan untuk membandingkan setiap tanaman kopi (tanaman 1, 2, dan 3) terhadap variasi warna buah kopi merah, oranye, dan hijau. Hasil analisis digunakan untuk mengetahui pengaruh tingkat kematangan buah dan variasi antar tanaman terhadap nilai Fruit Removal Force (FRF). Seluruh hasil pengukuran kemudian diinterpretasikan untuk menentukan kecenderungan perubahan nilai FRF pada setiap tingkat kematangan buah kopi robusta.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. FRF Berdasarkan Warna Tingkat Kematangan Buah Kopi

Nilai FRF yang diperoleh dari tiga tingkat kematangan buah kopi menunjukkan pola penurunan seiring meningkatnya tingkat kematangan. Buah kopi berwarna hijau memiliki nilai FRF tertinggi, diikuti oleh buah oranye, dan yang terendah adalah buah merah. Perbedaan ini disebabkan oleh perubahan fisiologis selama proses pemasakan buah yang menyebabkan pelunakan jaringan perlekatan antara buah dan tangkai (Manjunatha *et al.*, 2024). Data hasil pengukuran mendukung bahwa semakin matang buah, semakin kecil gaya yang diperlukan untuk melepaskannya dari tangkai (Pereira *et al.*, 2023). Nilai FRF yang rendah pada buah matang menunjukkan kesiapan buah untuk dipanen (Bizimungu *et al.*, 2022).

Hasil analisis statistik memperkuat hubungan antara tingkat kematangan dan gaya pelepasan buah. Nilai P-value untuk buah merah sebesar 0.670, buah oranye 0.796, dan buah hijau 0.149, seluruhnya lebih besar dari taraf signifikansi 5%, sehingga tidak terdapat perbedaan signifikan antar tanaman (Tabel 1-3). Hasil ini menunjukkan bahwa tingkat kematangan lebih berpengaruh terhadap FRF dibandingkan perbedaan tanaman itu sendiri (Buitrago-Osorio *et al.*, 2022). Temuan ini sejalan dengan laporan yang menyatakan bahwa perubahan warna kulit buah kopi menjadi indikator penurunan kekuatan perlekatan (Osorio Pérez *et al.*, 2023). Hubungan ini penting untuk menentukan waktu panen optimal guna mendapatkan kualitas biji terbaik.



Gambar 1. Pengukuran FRF buah kopi menggunakan instrumen tensile meter

Tabel 1. ANOVA *single factor* buah kopi warna merah

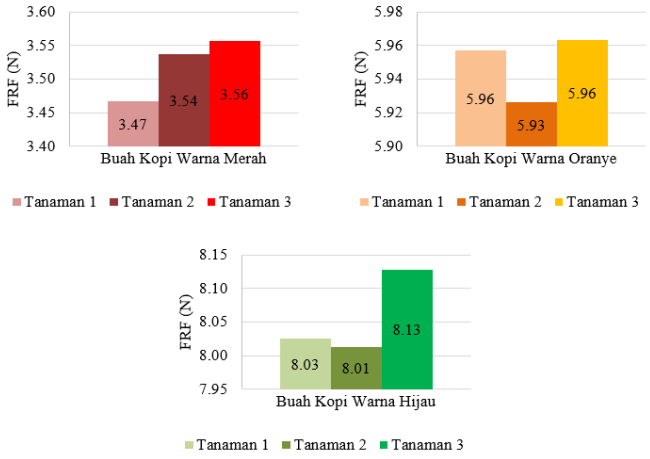
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.134	2	0.067	0.403	0.670	3.101
Within Groups	14.435	87	0.166			
Total	14.569	89				

Tabel 2. ANOVA *single factor* buah kopi warna oranye

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.024	2	0.012	0.229	0.796	3.101
Within Groups	4.586	87	0.053			
Total	4.610	89				

Tabel 3. ANOVA *single factor* buah kopi warna hijau

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.241	2	0.120	1.945	0.149	3.101
Within Groups	5.381	87	0.062			
Total	5.621	89				



Gambar 2. Hasil pengukuran FRF buah kopi berdasarkan warna buah kopi

3.2. FRF Berdasarkan Tanaman Kopi

Nilai Fruit Removal Force (FRF) yang diukur pada tiga tanaman kopi menunjukkan adanya variasi antar tanaman. Perbedaan tersebut terlihat dari nilai rata-rata FRF yang cenderung bervariasi akibat kondisi fisiologis dan tingkat kesuburan tanaman. Faktor lingkungan seperti intensitas cahaya, kadar air tanah, dan kondisi nutrisi tanaman berpengaruh terhadap kekuatan perlekatan buah pada tangkai (de Magalhães *et al.*, 2025). Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa nilai P-value kurang dari 0.05, yang menandakan terdapat perbedaan signifikan antar tanaman terhadap nilai FRF (Tabel 4-6). Hasil ini memperlihatkan bahwa karakteristik tanaman dapat memengaruhi besarnya gaya pelepasan buah kopi.

Variasi nilai FRF antar tanaman juga dapat dikaitkan dengan perbedaan diameter tangkai buah dan tekstur kulit buah. Tanaman dengan kondisi fisiologis lebih baik umumnya memiliki tangkai lebih kuat dan jaringan lebih kompak, sehingga nilai FRF lebih tinggi (Carréra *et al.*, 2023). Perbedaan tersebut dapat menjadi indikator bahwa kekuatan tangkai berkorelasi dengan faktor genetik maupun kondisi tumbuh tanaman (Ramos *et al.*, 2023). Nilai FRF yang tinggi pada tanaman tertentu menunjukkan potensi kesulitan dalam proses pemanenan manual maupun mekanis. Hasil ini dapat dijadikan pertimbangan dalam pemilihan varietas atau strategi budidaya untuk kemudahan panen.

Tabel 4. ANOVA *single factor* sampel tanaman kopi ke-1

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	323.035	2	161.518	1818.802	0.000	3.098
Within Groups	7.992	90	0.089			
Total	331.028	92				

Tabel 5. ANOVA single factor sampel tanaman kopi ke-2

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	311.007	2	155.504	1788.590	0.000	3.098
Within Groups	7.825	90	0.087			
Total	318.832	92				

Tabel 6. ANOVA single factor sampel tanaman kopi ke-3

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	324.302	2	162.151	1699.977	0.000	3.098
Within Groups	8.585	90	0.095			
Total	332.887	92				



Gambar 3. Hasil pengukuran FRF buah kopi berdasarkan tanaman kopi

3.3. Urgensi Pengukuran FRF Buah Kopi

Nilai FRF memiliki peran penting dalam pengembangan teknologi panen kopi yang efisien dan selektif. Data FRF dapat

menjadi acuan dalam perancangan alat pemanen kopi yang mampu membedakan buah matang dan belum matang berdasarkan gaya tarik yang dibutuhkan (Godinho *et al.*, 2022; Meneses *et al.*, 2024). Informasi ini membantu menentukan batas gaya optimal agar alat dapat memanen hanya buah yang telah mencapai tingkat kematangan tertentu. Penerapan hasil pengukuran FRF mendukung inovasi alat panen kopi modern berbasis prinsip mekanika dan sensor gaya (Zhou *et al.*, 2025). Nilai FRF yang akurat akan meningkatkan presisi dan efisiensi panen.

Pengukuran FRF juga berperan dalam upaya mengurangi kerusakan buah selama proses panen mekanis. Nilai gaya yang melebihi ambang batas dapat menyebabkan kulit buah robek atau biji pecah, yang menurunkan kualitas hasil panen (Wahyudi *et al.*, 2022). Data empiris FRF memberikan dasar ilmiah untuk merancang sistem pemanen dengan tenaga optimal dan komponen kontak yang sesuai (Garmame Galgaye & Bekele Elema, 2025; Kazama *et al.*, 2021). Teknologi pemanen selektif yang berbasis FRF dapat meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga mutu kopi (Al-Ghamdi *et al.*, 2024). Hasil penelitian ini memperkuat pentingnya integrasi antara aspek fisiologi tanaman dan desain mekanis dalam pengembangan teknologi pertanian presisi.

4. KESIMPULAN

Nilai *Fruit Removal Force* (FRF) buah kopi robusta di Desa Pakis, Sukorambi, Jember cenderung berbeda antar tanaman, yang menunjukkan bahwa karakter tanaman mempengaruhi kekuatan perlekatan buah terhadap tangkai. Nilai FRF juga menurun sesuai tingkat kematangan buah-buah yang lebih matang (merah) memerlukan gaya lebih kecil untuk dilepaskan dibanding buah oranye maupun hijau. Temuan ini memberikan kontribusi nyata dalam merancang alat pemanen kopi selektif, di mana batas gaya optimal dapat disesuaikan agar hanya buah yang matang yang terlepas tanpa merusak buah hijau. Rancangan alat pemetik berbasis nilai FRF dapat meningkatkan efisiensi panen, mengurangi kerusakan buah, dan membantu meminimalkan tenaga kerja manual. Saran untuk penelitian lanjut meliputi perluasan sampel tanaman dan lokasi, pengujian pengaruh faktor lingkungan terhadap FRF, serta prototipe alat pemanen yang diuji langsung di lapangan menggunakan data FRF sebagai parameter desain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Rekayasa Pangan, Alat dan Mesin Pertanian, Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Muarif selaku petani dan produsen Kopi Rengganis Desa Pakis, Kecamatan Sukorambi, Kabupaten Jember.

DAFTAR PUSTAKA

Afsah-Hejri, L., Homayouni, T., Toudeshki, A., Ehsani, R., Ferguson, L., & Castro-García, S. (2022). Mechanical harvesting of selected temperate and tropical fruit and nut trees. *Horticultural Reviews*, *49*, 171–242.

Al-Ghamdi, S., Alfaifi, B., Elamin, W., & Lateef, M. A. (2024). Advancements in coffee manufacturing: From dehydration techniques to quality control. *Food Engineering Reviews*, *16*(4), 513–539.

Baptistella, J. L. C., Assoni, G., da Silva, M. S., & Mazzafera, P. (2024). Variation in soluble sugars in Arabica coffee cherry fruits. *Plants*, *13*(13), 1853.

Bizimungu, G., Ahouansou, R. H., Semassou, C., & Dusabumuremyi, J. C. (2022). Physical and mechanical properties of coffee cherries and beans in Africa: Review and the State of arts. *Food Science and Technology*, *10*(3), 55–74.

Buitrago-Osorio, J., Tinoco, H. A., Perdomo-Hurtado, L., Rincon-Jimenez, A., Ocampo, O., Berrio, L. V, Pineda, M. F., & Lopez-Guzman, J. (2022). Physical-mechanical characterization of coffee fruits Coffea

arabica L. var. Castillo classified by a colorimetry approach. *Materialia*, *21*, 101330.

Cardona, C. I., Tinoco, H. A., Perdomo-Hurtado, L., López-Guzmán, J., & Pereira, D. A. (2021). Vibrations analysis of the fruit-pedicel system of Coffea arabica var. Castillo using time–frequency and wavelets techniques. *Applied Sciences*, *11*(19), 9346.

Carréra, J. C., Resende, T. B., Vicente Campos, A. A., de Souza, R. R., de Oliveira, I. M. M., Alves Ribeiro, C., Gavilanes, M. L., Guimarães, R. J., & Mori, F. A. (2023). Anatomic characteristics of branches related to the vegetative growth of coffee tree (Coffea arabica L., Rubiaceae) under nutritional variation. *Journal of Plant Nutrition*, *46*(19), 4594–4605.

de Deus Godinho Filho, J., Souza, J. B. C., de Almeida, S. L. H., Junior, L. A. R. R., de Oliveira Vieira, I. C., de Oliveira Tavares, T., & da Silva, R. P. (2025). Spatial and Temporal Variability of Coffee Fruit Detachment Force in Relation to Maturity Aiming at Smart Harvesting. *Smart Agricultural Technology*, 101394.

de Magalhães, W., Araújo, S. C., Cecon, P. R., Nogueira, M. A., & Martinez, H. E. P. (2025). Root Growth, Leaf and Root Chemical Composition Along Coffee Fruit Development. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *25*(1), 1968–1981.

Garmame Galgaye, G., & Bekele Elema, A. (2025). Illumination of potential varieties, precision techniques and a 4.0 technologies in coffee farming. A systematic review. *Cogent Food & Agriculture*, *11*(1), 2543960.

Godinho, J. de D., Costa Souza, J. B., Silva, R. P., Tavares, T. de O., da Costa, W. C. A., de Oliveira, B. R., & Luns Hatum de Almeida, S. (2022). The best moment to carry out the selective harvest of coffee fruits. *Agronomy Journal*, *114*(6), 3297–3305.

Kazama, E. H., da Silva, R. P., Tavares, T. de O., Correa, L. N., de Lima Estevam, F. N., Nicolau, F. E. de A., & Maldonado Júnior, W. (2021). Methodology for selective coffee harvesting in management zones of yield and maturation. *Precision Agriculture*, *22*(3), 711–733.

Lubis, S. N., & Lubis, A. (2024). Enhancing Indonesian coffee trade: Strategies for navigating and reducing trade barriers. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, *7*(3), 1248–1267.

Manjunatha, K., Savadi, S., Adiga, J. D., Balasubramanian, D., Naik, R., Muralidhara, B. M., & Chethan, C. R. (2024). Evaluation of fruit detachment forces and related characteristics reveals differential fruit detachments at developmental stages and cultivar differences in cashew. *Scientia Horticulturae*, *331*, 113128.

Meneses, M. D., dos Santos Carreira, V., de Almeida Moreira, B. R., do Vale, W. G., de Souza Rolim, G., & da Silva, R. P. (2024). Machine learning models for classifying coffee fruits detachment force. *Agronomy Journal*, *116*(5), 2362–2369.

Nuraeni, E., Rahma, A. F., Oktavianto, B., & Susilawati, P. N. (2024). Diversity and potential of coffee plant types in Lawang Taji, Gunung Karang, Pandeglang Regency, Banten. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, *52*(3), 358–367.

Osorio Pérez, V., Matallana Pérez, L. G., Fernandez-Alduenda, M. R., Alvarez Barreto, C. I., Gallego Agudelo, C. P., & Montoya Restrepo, E. C. (2023). Chemical composition and sensory quality of coffee fruits at different stages of maturity. *Agronomy*, *13*(2), 341.

Pereira, J. S., Magalhães, R. R., Santos, F. L., De Andrade, E. T., & Marques, L. S. (2023). Modeling of Coffee Fruit: An Approach to Simulate the Effects of Compression. *AgriEngineering*, *5*(4), 2303–2313.

Ramos, E. G., Barros, V. M. de S., Miranda, J. D. B., Silva, L. M. R.,

Neves, J. C. L., Meira, R. M. S. A., & Oliveira, T. S. de. (2023). Physiological and morphological responses of Arabica coffee cultivars to soil compaction. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, *47*, e0230046.

Santin, M. R., Amabile, R. F., Malaquias, J. V., Veiga, A. D., Brige, F. A. A., & Sala, P. I. A. L. (2023). Maturation and detachment force for mechanized harvesting of irrigated Conilon coffee in the Brazilian Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *58*, e02967.

Suryana, A. T., Harianto, H., Syaukat, Y., & Harmini, H. (2023). Indonesia robusta coffee value chain: Mapping and upgrading opportunities. *BIO Web of Conferences*, *69*, 4007.

Tampubolon, J., Ginting, A., Nainggolan, H. L., & Tarigan, J. R. (2023). Indonesian coffee development path: production and international trade. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, *41*(12), 316–328.

Velásquez, S., & Banchón, C. (2023). Influence of pre-and post-harvest factors on the organoleptic and physicochemical quality of coffee: A short review. *Journal of Food Science and Technology*, *60*(10), 2526–2538.

Yu, Y., Cao, Y., Lai, Q., Zhao, Q., Sun, Z., Zhou, S., & Song, D. (2023). Design and Operation Parameters of Vibrating Harvester for Coffea arabica L. *Agriculture*, *13*(3), 700.

Zhou, S., Yu, Y., Su, W., Wang, H., Yuan, B., & Que, Y. (2025). Determining the Vibration Parameters for Coffee Harvesting Through the Vibration of Fruit-Bearing Branches: Field Trials and Validation. *Agriculture*, *15*(10), 1036.