

Analyse des potentialités agro-pédologiques dans un contexte de changement climatique: Comparaison des systèmes agroforestiers cacaoyers, jachères et forêts

[Analysis of agro-pedological potentialities in the context of climate change: A comparative study of cocoa agroforestry systems, fallow lands, and forests]

Akotto Odi Faustin, N'Guessan Kouamé Jean-Claude, Kouadio Konan Kan Hippolyte, and Kouamé Konan Constant

Soil Science and Sustainable Agriculture Program, Laboratory of Soil Sciences, Water, and Geomaterials (LSSEG), Faculty of Earth and Mineral Sciences (STRM), Felix Houphouët-Boigny University Abidjan (UFHB), 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The comparative study of cocoa-based agroforests, fallow lands, and forests in the Akoupé department reveals promising results in combating climate change. Cocoa-based agroforests (SAFs) stand out with a higher average nitrogen content (0.22) compared to fallow lands (0.14) and forests (0.08), promoting carbon sequestration and reducing greenhouse gas emissions. Correlation analysis shows a moderate positive relationship between nitrogen and potassium, enhancing nutrient utilization and strengthening crop resilience against climate variations. While SAFs sometimes exceed sustainable agriculture thresholds for nitrogen, phosphorus, and potassium, and to a lesser extent, fallow lands for nitrogen, sustainable management practices (crop rotation, organic fertilization) can mitigate these exceedances. Overall, SAFs prove to be powerful allies against climate change. Their carbon sequestration capacity, resilience, and agricultural potential make them essential systems for sustainable agriculture. These findings can guide farmers and policymakers towards environmentally friendly practices and contribute to a greener and more sustainable future.

KEYWORDS: Agroforests, cocoa, climate change, resilience, sustainable management.

RESUME: L'étude comparative des agroforêts à base de cacaoyer, jachères et forêts dans le département d'Akoupé révèle des résultats prometteurs pour lutter contre le changement climatique. Les agroforêts à base de cacaoyer (SAFs) se distinguent par une moyenne élevée en azote (0,22) par rapport aux jachères (0,14) et aux forêts (0,08), favorisant le stockage de carbone et réduisant les émissions de gaz à effet de serre. L'analyse de corrélation montre une relation positive modérée entre l'azote et le potassium, favorisant une meilleure utilisation des nutriments et renforçant la résilience des cultures face aux variations climatiques. Comparés aux seuils pour une agriculture durable, les SAFs dépassent parfois les limites pour l'azote, le phosphore et le potassium, et dans une moindre mesure dans les jachères pour l'azote. Mais des pratiques de gestion durable (rotation des cultures, apport d'engrais organique) peuvent atténuer ces dépassements. Au total, les SAFs sont des alliées puissantes contre le changement climatique. Leur capacité de stockage de carbone, résilience et potentiel agricole en font des systèmes essentiels pour une agriculture durable. Ces résultats peuvent guider les agriculteurs et décideurs vers des pratiques respectueuses de l'environnement et contribuer à un avenir plus vert et durable.

MOTS-CLEFS: Agroforêts, cacaoyer, changement climatique, résilience, gestion durable.

1 INTRODUCTION

Le changement climatique représente l'un des défis majeurs auxquels l'agriculture mondiale est confrontée aujourd'hui [1]. Les variations climatiques et les phénomènes extrêmes impactent directement les écosystèmes agricoles, mettant en péril la sécurité alimentaire et la durabilité des pratiques agricoles traditionnelles [2]. Dans ce contexte, des approches durables sont incontestables, pour atténuer les effets néfastes du changement climatique [3] et s'adapter à ses conséquences [4]. Les systèmes agroforestiers à base de cacao et les forêts naturelles sont des écosystèmes d'une importance capitale dans la région d'Akoupé en Côte d'Ivoire. Ils combinent la

culture de cacao avec des arbres d'ombrage, créant ainsi une mosaïque complexe d'interactions écologiques [5], [6]. Ces systèmes offrent non seulement une source de revenus pour les agriculteurs, mais également des avantages environnementaux tels que la préservation de la biodiversité, la protection des sols contre l'érosion et la régulation du climat local [7]. D'autre part, les forêts naturelles (classées et/ou jachères), en plus de leur valeur intrinsèque en termes de biodiversité, jouent un rôle crucial dans la production des biens et services. En particulier, les agroforêts à base de cacaoyer, les jachères et les forêts sont des systèmes agricoles prépondérants dans de nombreuses régions tropicales. Ces systèmes offrent des opportunités pour concilier production agricole, conservation des ressources naturelles et résilience aux perturbations climatiques [8]. Cependant, pour maximiser leur potentiel agricole et leur contribution à la gestion durable des sols, il est essentiel de mieux comprendre leurs propriétés pédologiques et leur réponse au changement climatique. C'est dans ce contexte que notre étude entre en jeu.

La présente étude vise donc à réaliser une analyse approfondie des propriétés des sols dans un contexte de changement climatique, en se focalisant sur les trois écosystèmes. L'objectif est de comparer ces systèmes agroforestiers en termes de nutriments du sol, de pH et d'autres indicateurs clés, afin d'identifier leurs différences et similitudes. En intégrant ces résultats, l'étude souhaite fournir des recommandations pratiques pour une agriculture durable et résiliente au changement climatique. Face au changement climatique, l'agriculture durable joue un rôle central dans la sécurité alimentaire et la préservation des écosystèmes [9]. Les agroforêts à base de cacaoyer, les jachères de plus de 10 ans et les forêts sont des systèmes agricoles prometteurs pour relever ces défis, mais leur potentiel agricole et leurs caractéristiques pédologiques demeurent encore largement méconnus. Il est donc primordial de répondre aux questions suivantes: (1) Quelles sont les principales différences dans les propriétés des sols entre les agroforêts à base de cacaoyer, les jachères de 10 ans et les forêts ? (2) Comment ces trois systèmes agroforestiers répondent-ils aux variations climatiques et aux phénomènes extrêmes liés au changement climatique ? (3) Quel est le potentiel agricole de chaque système en termes de nutriments du sol et de pH, et comment ces résultats peuvent-ils être utilisés pour développer des pratiques agricoles durables ?

Cette étude est réalisée dans le département d'Akoupé, une région tropicale où l'agriculture joue un rôle central dans l'économie locale, avec une forte dépendance vis-à-vis du cacao, notamment dans les agroforêts à base de cacaoyer. Les jachères de plus de 10 ans sont également courantes dans la région, offrant des opportunités de régénération naturelle des sols et de la végétation. Les forêts, singulièrement les forêts classées, quant à elles, sont essentielles pour la conservation de la biodiversité et la protection des ressources naturelles [10]. Dans ce contexte, il est essentiel de comprendre comment ces systèmes agricoles interagissent avec leur environnement, en particulier dans un contexte de changement climatique.

L'objectif principal de cette étude est de réaliser une analyse comparative approfondie des propriétés des sols des agroforêts à base de cacaoyer, des jachères de plus de 10 ans et des forêts dans le département d'Akoupé, en tenant compte du contexte de changement climatique. Plus spécifiquement, elle vise à:

1. Caractériser les principales propriétés pédologiques (nutriments du sol, pH, etc.) de chaque système agricole.
2. Comparer les potentialités agricoles des systèmes en termes de nutriments du sol et de pH.
3. Fournir des recommandations pratiques pour une gestion durable des sols et une agriculture résiliente face au changement climatique.

En intégrant les résultats, l'étude contribuera à une meilleure compréhension des interactions entre les systèmes agroforestiers et le contexte de changement climatique, tout en fournissant des perspectives novatrices pour une agriculture durable et adaptée aux défis actuels.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIEL

Le matériel biologique est composé des espèces végétales. Le matériel technique est constitué d'un GPS (Global Positioning System), pour localiser les différents sites, d'un ruban dendrométrique millimètre, pour mesurer la circonférence des arbres, une tige en aluminium de 1,30 m, pour indiquer le niveau de mesure de la circonférence à 1.30 m de hauteur et le code Munsell, pour la caractérisation des couleurs selon la notation Munsell.

2.2 ZONE D'ÉTUDE

La figure 1 illustre la carte du département d'Akoupé, au Nord de la Région de La Mé (Sud-est de la Côte d'Ivoire). Ce travail s'est déroulé à la fin de la campagne 2020/2021 dans les forêts classées de la Besso, de l'Agbo, territoires des sous-préfectures d'Afféry, d'Akoupé et de Bécouéfin. Les sols des localités majoritairement composés de Cambisols dans les environnements bien drainés et de Gleysols dans les bas-fonds [11]. La température moyenne mensuelle varie entre 24 °C et 28 °C, avec une valeur moyenne de 26,6 °C. L'humidité relative reste constamment supérieure à 70 % tout au long de l'année. La pluviométrie moyenne annuelle dépasse les 1605

mm, dans un climat de type équatorial caractérisé par quatre saisons distinctes: deux saisons de pluies (mars à juin et septembre à novembre) et deux saisons sèches (décembre à février et juillet à août).

2.3 MÉTHODES

2.3.1 COLLECTE DES DONNÉES D'OCCURRENCE DE *P. RUDERALE*

Les enquêtes socio-économiques ont été menées auprès des coopératives locales de producteurs de cacao pour identifier les systèmes agroforestiers (SAFs) à base de cacaoyer, et auprès des autorités locales pour localiser les forêts classées: forêt classée de la Besso (FCB), forêt classée de l'Agbo (FCA) ou non. Les SAFs à base de cacaoyer ont été identifiées en fonction des informations fournies par les producteurs concernant les pratiques agroforestières mises en œuvre dans leurs exploitations. Les zones agricoles voisines des SAFs, dont les jachères de plus de 10 ans, ont été sélectionnées en fonction de leur proximité géographique et de leur similitude avec les SAFs en termes d'utilisation des terres. Des relevés sur le terrain ont été effectués pour confirmer l'emplacement des zones de forêt classée et pour identifier les limites précises de chaque zone. Nous avons utilisé 10 placettes d'échantillonnage pour chaque milieu écologique (SAFs à base de cacaoyer et forêt classée ou non et jachère). Chaque placette a une taille de 50 mètres par 50 mètres. Cela signifie que nous avons prélevé des échantillons dans 10 zones différentes des SAFs à base de cacaoyer, 10 zones différentes dans les forêts classées ou non et également 10 dans les jachères de plus de 10 ans. Dans chaque zone, nous avons mesuré les diamètres et les hauteurs des arbres pour constituer notre échantillon représentatif de chaque milieu.

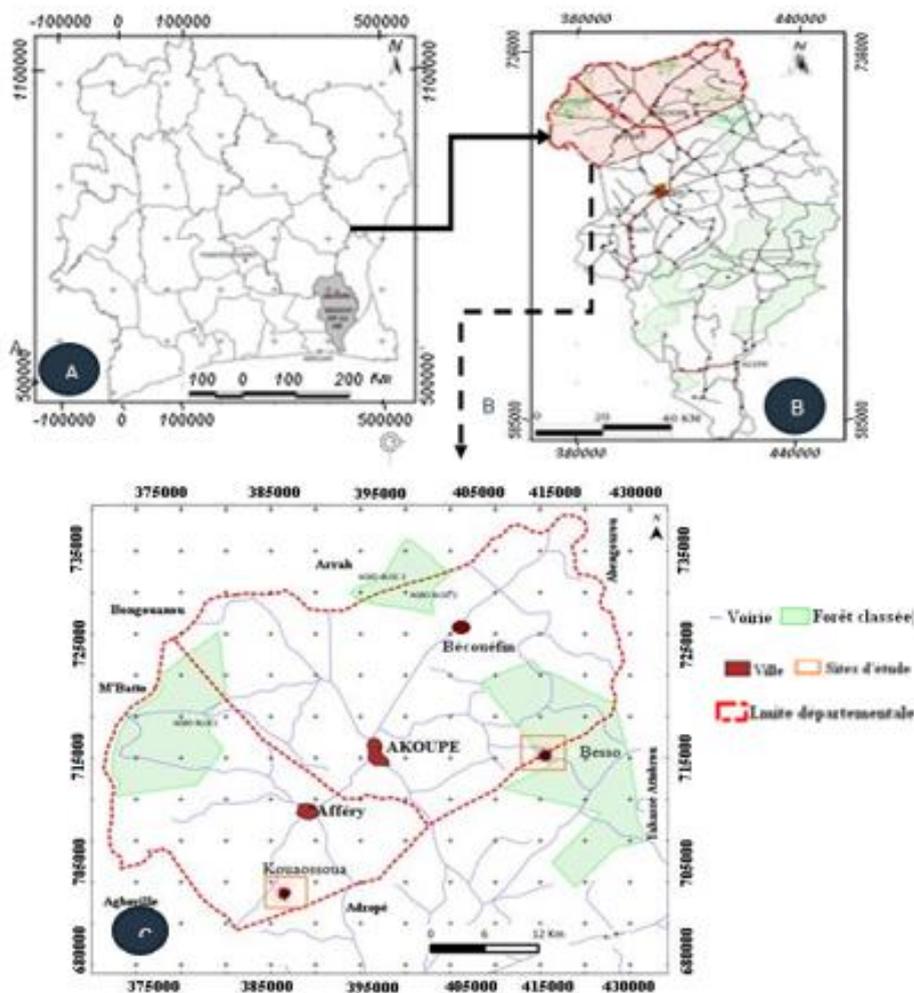


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude en Côte d'Ivoire
A: Côte d'Ivoire, B: Région de La Mé et C: Département d'Akoupe

Les profondeurs diffèrent en fonction des systèmes (forêts vs. SAFs) en raison des caractéristiques spécifiques des écosystèmes et des pratiques de gestion associées. Dans le contexte la génération des données a été définie selon des profondeurs spécifiques pour les horizons du sol dans chaque système où des sondages tarière y ont été effectués:

- Dans les forêts classées ou non, nous avons utilisé la profondeur "0-30 cm" pour représenter la couche du sol allant de la surface jusqu'à 30 centimètres de profondeur; il s'agit souvent d'un environnement naturel où les caractéristiques du sol sont moins susceptibles de varier de manière significative sur de petites échelles. Cela signifie que les mesures de propriétés du sol sont associées à cette profondeur spécifique dans les forêts.

- Dans le cas des SAFs à base de cacaoyer et jachères, nous avons utilisé la profondeur "0-60 cm" pour représenter une couche du sol plus profonde allant de la surface jusqu'à 60 centimètres de profondeur. Cela est probablement dû au fait que ces écosystèmes peuvent impliquer une gestion agricole plus intensive, comme le travail du sol pour planter les cacaoyers, ce qui peut affecter les caractéristiques du sol sur une plus grande profondeur. Ainsi, les mesures de propriétés du sol y sont associées à cette profondeur plus profonde.

Pour collecter des données de terrain précises, nous avons utilisé un système de positionnement global (GPS) pour géoréférencer 30 parcelles d'échantillonnage. Les échantillons prélevés ont été séchés à l'air et passés au tamis de maille 2 mm et analysés au laboratoire pour le pH, les teneurs en azote, phosphore assimilable (P_2O_5) et potassium. Le pH eau a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre à partir d'une suspension de sol et d'eau distillée dans un rapport sol/eau de 1/2,5. L'azote a été dosé par la méthode Kjeldahl. Le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode Olsen.

2.4 ANALYSE STATISTIQUE

Une analyse statistique descriptive est réalisée pour caractériser les propriétés des sols dans les SAFs, les jachères et les forêts. Les moyennes, écarts-types et autres indicateurs de dispersion sont calculés pour chaque propriété du sol. Une analyse comparative est réalisée pour évaluer les différences significatives entre les systèmes agroforestiers. Des tests statistiques, tels que le test de Tukey, sont utilisés pour comparer les moyennes des propriétés du sol entre les systèmes. Les données de concentrations en azote, phosphore et potassium sont converties en unités de kg/ha pour évaluer le potentiel agricole de chaque système. Les seuils pertinents pour l'agriculture durable et la gestion des sols sont pris en compte pour interpréter les résultats. Les données de sol et les données climatiques sont intégrées dans un système d'information géographique (SIG) pour réaliser des analyses géospatiales. Des cartes de densité des propriétés du sol sont générées pour visualiser les variations spatiales. Les résultats de l'analyse comparative sont interprétés en tenant compte du contexte de changement climatique. Les dépassements de seuils sont évalués pour déterminer les systèmes présentant le plus grand potentiel agricole et les plus résilients face aux variations climatiques.

Les données du sol collectées ont été soumises à une procédure de traitement rigoureuse afin d'assurer la qualité et la cohérence des données pour l'analyse de la variance (ANOVA). Ce traitement des données a été analysé à l'aide du logiciel R version 4.3.0 [12], un langage de programmation statistique largement utilisé pour l'analyse des données environnementales. La significativité a été définie au niveau de confiance de 95% ($p < 0,05$). Initialement, les données brutes ont été importées dans R, et une inspection visuelle préliminaire a été effectuée pour identifier d'éventuelles erreurs ou valeurs aberrantes. Les observations contenant des erreurs ont été identifiées et corrigées ou exclues de l'analyse afin de minimiser tout impact négatif potentiel sur les résultats.

3 RÉSULTATS

3.1 ANALYSE DES PROPRIÉTÉS DU SOL DANS LES AGROFORÊTS À BASE DE CACAOYER

3.1.1 CARACTÉRISTIQUES DES SOLS

Le tableau 1 résume les statistiques descriptives du pH et des nutriments du sol. La moyenne du pH est légèrement plus élevée dans les jachères (6,66) par rapport aux forêts (6,43) et aux SAFs (6,09). Le coefficient de variation du pH est le plus élevé dans les SAFs (14,07%), ce qui indique une plus grande variabilité autour de la moyenne. Les forêts ont le coefficient de variation le plus bas (6,60%), indiquant une plus grande homogénéité des valeurs de pH. La médiane du pH présente une variation plus importante dans les agroforêts à base de cacaoyer ($6,30 \pm 0,86$) par rapport aux forêts ($6,35 \pm 0,42$) et aux jachères ($6,75 \pm 0,31$). Cela suggère une plus grande dispersion des valeurs de pH dans les SAFs. La moyenne de l'azote est la plus élevée dans les agroforêts à base de cacaoyer (0,22), suivie des jachères (0,14) et des forêts (0,08). Le coefficient de variation de l'azote est élevé pour les trois types de sols, indiquant une grande variabilité des niveaux d'azote dans tous les cas. La médiane de l'azote présente une grande variation dans les jachères ($0,09 \pm 0,12$) et les SAFs ($0,11 \pm 0,25$), tandis qu'elle est plus proche de la moyenne dans les forêts ($0,10 \pm 0,06$). La moyenne du phosphore est la plus élevée dans les forêts (2,59), suivie des jachères (2,45) et des SAFs (1,60). Le coefficient de variation du phosphore est le plus élevé dans les jachères (88,41%), indiquant une grande dispersion des valeurs autour de la moyenne. La médiane du phosphore présente une grande variation dans les jachères ($3,0 \pm 2,166$), tandis que les forêts ($2,51 \pm 0,20$) et les SAFs ($0,50 \pm 1,56$) ont une médiane plus proche de la moyenne. La moyenne du potassium est la plus élevée dans les forêts (2,48), suivie des SAFs (2,30) et des jachères (1,73). Le coefficient de variation du potassium est le plus élevé dans les jachères (42,91%), indiquant une plus grande variabilité des niveaux de potassium dans ce type de sol. La médiane du potassium est relativement proche de la moyenne dans tous les cas, bien que les forêts ($2,60 \pm 0,38$) présentent une légère variation.

Tableau 1. Analyse statistique descriptive comparative des propriétés du sol entre les agroforêts à base de cacaoyer, les jachères et les forêts

pH	Moyenne	6,43±0,424	6,656±0,313	6,087±0,856
	Médiane	6,35	6,75	6,295
	Coef.var	6,60	4,70	14,07
Azote	Moyenne	0,075±0,063	0,144±0,121	0,224±0,246
	Médiane	0,100	0,090	0,105
	Coef.var	83,36	83,80	110,02
Phosphore	Moyenne	2,586±0,204	2,450	1,600±1,555
	Médiane	2,505	3,000±2,166	0,500
	Coef.var	7,88	88,41	97,22
Potassium	Moyenne	2,482±0,375	1,729±0,742	2,299±0,459
	Médiane	2,595	1,329	2,379
	Coef.var%	15,13	42,91	19,97

3.1.2 CORRÉLATIONS ENTRE LES PROPRIÉTÉS DU SOL

Le tableau 2 résume les relations entre les propriétés du sol. Il y a une corrélation positive faible entre le pH et l'Azote (0,24). Cela signifie qu'à mesure que les niveaux d'Azote augmentent dans le sol, le pH tend à augmenter légèrement également. Cependant, cette relation est relativement faible. Il n'y a pratiquement aucune relation linéaire significative entre le pH et le Phosphore (-0,02). Les niveaux de Potassium ont une influence négligeable sur le pH du sol (0,05). Il n'y a pas de relation linéaire significative entre l'Azote et le Phosphore (-0,03). Il y a une corrélation positive modérée entre l'Azote et le Potassium (0,24). Cela signifie qu'à mesure que les niveaux d'Azote augmentent, les niveaux de Potassium ont tendance à augmenter de manière modérée également. Il y a une corrélation positive modérée entre le Phosphore et le Potassium (0,26). Cela suggère que ces deux propriétés du sol sont liées de manière modérée, et une augmentation des niveaux de Phosphore est associée à une augmentation des niveaux de Potassium. Globalement, les corrélations entre les propriétés du sol sont généralement faibles à modérées, indiquant qu'elles ne sont pas fortement liées les unes aux autres. Ces résultats permettent de comprendre les interactions entre les différents nutriments et composants du sol, ce qui pourrait avoir des implications importantes pour la fertilité du sol et la croissance des cultures dans le contexte du travail. Ces corrélations dans le cadre de l'ensemble des facteurs environnementaux et agronomiques, sont utiles pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion des sols et de pratiques agricoles.

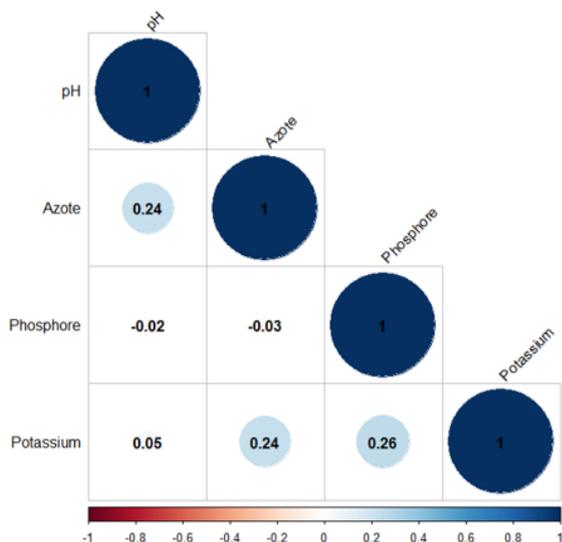


Fig. 2. Corrélation entre les propriétés du sol étudiées

Une couleur vive (rouge vif) indique une forte corrélation positive entre les deux variables. Cela signifie que lorsque la valeur d'une variable augmente, la valeur de l'autre variable augmente également de manière proportionnelle.

Une couleur foncée (bleu foncé) indique une forte corrélation négative entre les deux variables. Cela signifie que lorsque la valeur d'une variable augmente, la valeur de l'autre variable diminue de manière proportionnelle.

Une couleur pâle indique une corrélation faible (rose pâle ou bleu pâle) entre les deux variables. Cela signifie qu'il y a peu ou pas de relation linéaire claire entre les variables. Une couleur neutre (blanc ou gris) est utilisée pour représenter l'absence de corrélation entre les variables. Cela signifie que les variables sont indépendantes les unes des autres.

3.1.3 COMPARAISON AVEC LES SEUILS PERTINENTS POUR L'AGRICULTURE DURABLE

Le tableau 3 illustre les concentrations des propriétés du sol. Les dépassements de seuils dans les SAFs et dans une moindre mesure en jachères indiquent des concentrations élevées en azote, en phosphore et en potassium sous les SAFs. Ces dépassements peuvent être préoccupants car ils peuvent entraîner des risques de pollution environnementale et de dégradation du sol. C'est le lieu de rappeler

que des pratiques de gestion durable des sols dans ces systèmes sont envisagées, pour réduire les apports excessifs de nutriments et éviter les impacts négatifs sur l'environnement. Des approches telles que la rotation des cultures, l'utilisation d'engrais organiques et la plantation de cultures de couverture peuvent être envisagées pour améliorer la gestion des nutriments dans ces écosystèmes.

3.1.4 POINTS COMMUNS ET DIFFÉRENCES PAR RAPPORT AUX SEUILS PERTINENTS

Nous pouvons effectuer une analyse de variance (ANOVA), pour les nutriments (pH, Azote, Phosphore, Potassium) des systèmes (SAFs, Jachère et Forêt). Les résultats de l'ANOVA (Tableau 4) suggèrent que les propriétés du sol, en termes de pH et d'azote, sont similaires dans les trois systèmes (Forêts, SAFs et Jachères). Cependant, il y a une différence significative dans les concentrations de potassium entre les Forêts et les Jachères, mais pas entre les Forêts et les SAFs ni entre les SAFs et les Jachères. Pour le phosphore, bien qu'il n'y ait pas de différence significative globale entre les systèmes, il y a une différence proche du seuil de significativité entre les Forêts et les Jachères. Les systèmes de Forêts, SAFs et de Jachères peuvent partager des caractéristiques similaires en termes de pH et d'azote du sol, mais des différences significatives existent en ce qui concerne les concentrations de potassium et une différence proche du seuil pour le phosphore entre certains systèmes. Ces informations peuvent être utiles pour orienter les pratiques de gestion agricole durable et la conservation des sols dans ces différents systèmes agricoles dans le département d'Akoupé. Dans l'ensemble, ces analyses soulignent l'importance de surveiller attentivement les niveaux de nutriments dans les systèmes agricoles et de prendre des mesures appropriées pour préserver la fertilité du sol et protéger l'environnement.

Tableau 2. Comparaison des concentrations en Azote, Phosphore et Potassium dans les différents systèmes d'échantillonnage

Parcelle	Azote		Phosphore		Potassium		Analyse
	Kg.ha ⁻¹	Depst	Kg.ha ⁻¹	Depst	Kg.ha ⁻¹	Depst	
Forêts	1,000	Non	25,0	Non	25,40000	Non	Aucune des concentrations en N, P et K des parcelles ne dépasse le seuil supérieur acceptable de 2,0 kg/ha en N, 50,0 kg/ha en P et 30,0 kg/ha en K
	0,100	Non	27,5	Non	19,90000	Non	
	0,040	Non	27,5	Non	26,50000	Non	
	0,030	Non	22,5	Non	26,90000	Non	
	0,047	Non	25,0	Non	21,10000	Non	
	1,400	Non	24,0	Non	24,20000	Non	
	1,200	Non	28,0	Non	18,70000	Non	
	1,100	Non	29,0	Non	28,50000	Non	
	1,000	Non	25,0	Non	29,70000	Non	
	1,600	Non	25,1	Non	27,30000	Non	
Agroforêts	0,600	Non	5,0	Non	23,18947	Non	30% des concentrations et 10% des parcelles dépassent le seuil le seuil supérieur acceptable de 2,0 kg/ha, 50,0 kg/ha et 30,0 kg/ha en N, P et K, respectivement
	3,300	Oui	5,0	Non	12,66316	Non	
	0,900	Non	30,0	Non	13,29474	Non	
	0,500	Non	30,0	Non	13,29474	Non	
	2,900	Oui	30,0	Non	13,29474	Non	
	0,900	Non	5,0	Non	23,18947	Non	
	0,500	Non	5,0	Non	12,66316	Non	
	0,600	Non	30,0	Non	13,29474	Non	
	3,300	Oui	75,0	Oui	34,70000	Oui	
Jachères	0,500	Non	5,0	Non	23,18947	Non	30% des concentrations en N des parcelles dépassent le seuil de 2,0 kg/ha, tandis que 0% ne dépasse le seuil supérieur acceptable de 50 kg/ha en P et 30 kg/ha en K
	7,700	Oui	25,0	Non	29,10000	Non	
	3,100	Oui	5,0	Non	22,70526	Non	
	1,000	Non	5,0	Non	15,86316	Non	
	0,600	Non	32,5	Non	15,55789	Non	
	1,800	Non	30,0	Non	26,80000	Non	
	5,400	Oui	2,5	Non	24,40000	Non	
	1,100	Non	5,0	Non	26,69474	Non	
	0,600	Non	45,0	Non	25,62105	Non	
0,600	Non	30,0	Non	19,97895	Non		

Tableau 3. Résultats de l'ANOVA à deux facteurs pour les propriétés du sol en fonction du type de sol et de la parcelle

Paramètre	Facteur	Degrés de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur F	p-value	Significatif
pH	Type de Sol	2,00	1,64	0,82	2,49	0,10	Non
	Parcelle	1,00	0,53	0,53	1,62	0,21	Non
	Résidus	26,00	8,57	0,33			
Azote	Type de Sol	2,00	0,11	0,06	2,04	0,15	Non
	Parcelle	1,00	0,01	0,01	0,20	0,66	Non
	Résidus	26,00	0,71	0,03			
Phosphore	Type de Sol	2,00	5,71	2,86	1,34	0,28	Non
	Parcelle	1,00	8,76	8,76	4,10	0,05	Proche du seuil
	Résidus	26,00	55,61	2,14			
Potassium	Type de Sol	2,00	3,09	1,54	5,09	0,01	Oui
	Parcelle	1,00	0,23	0,23	0,76	0,39	Non
	Résidus	26,00	7,89	0,30			

Significatif: Oui = Significatif à un niveau de confiance de 0,05, Non = Non significatif, Proche du seuil = P-value proche du seuil de 0,05.

3.2 ANALYSE DES PARCELLES ÉTUDIÉES ET IMPLICATIONS POUR L'AGRICULTURE DURABLE

Quelques explications complémentaires concernent la distribution des parcelles étudiées (Figure 2) dans le contexte d'étude:

La répartition des parcelles peut être influencée par des facteurs géographiques tels que l'altitude, la topographie, le type de sol naturel, et la proximité des cours d'eau. Certaines zones spécifiques du département peuvent être plus propices à la présence de Forêts en raison de conditions climatiques particulières, tandis que d'autres régions pourraient être davantage converties en SAFs ou en Jachères en fonction des pratiques agricoles locales. Elle peut également être liée aux pratiques agricoles traditionnelles et aux usages du sol dans la région. Par exemple, certaines zones pourraient avoir été historiquement utilisées pour l'agriculture et la culture du cacao, tandis que d'autres étaient conservées en tant que forêts ou laissées en jachères pour permettre la régénération naturelle du sol et de la végétation. Le type de sol pourrait être associé aux activités économiques dominantes dans la région. La culture du cacao est une source économique importante dans le département, on pourrait s'attendre à une plus grande présence de SAFs dans les zones où les agriculteurs favorisent cette culture pour ses bénéfices économiques. La distribution des parcelles reflète les efforts de conservation et de gestion durable des ressources naturelles. Certains secteurs du département pourraient être désignés comme aires protégées, où la conservation de la forêt est priorisée, tandis que d'autres zones pourraient être identifiées pour des pratiques agricoles spécifiques, telles que la régénération des sols par des jachères. La répartition des parcelles peut être influencée par la participation et la collaboration des agriculteurs locaux dans l'étude, en ce sens que Certains agriculteurs délocalisés des forêts classées de la Besso et de l'Agbo et relocalisés ont été plus enclins à participer à la recherche sur les pratiques durables et l'agroforesterie.

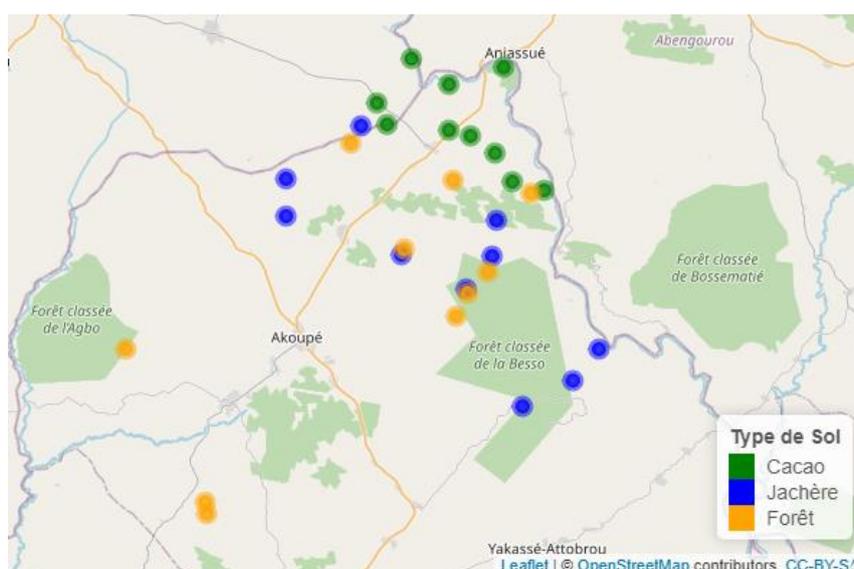


Fig. 3. Répartition des parcelles étudiées dans le département selon le type de sol, à l'aide de l'algorithme leaflet

4 DISCUSSION

La préservation de la fertilité des sols est une préoccupation majeure dans le contexte de l'agriculture durable. Les systèmes agroforestiers, les jachères et les forêts sont des modèles importants d'aménagement des terres qui peuvent influencer considérablement les propriétés du sol. Cette étude vise à analyser et comparer les concentrations en nutriments (azote, phosphore, potassium) dans ces trois systèmes. Nous avons également examiné les dépassements éventuels des seuils pertinents pour l'agriculture durable, ainsi que les facteurs qui peuvent influencer ces variations. Les résultats de l'étude révèlent des tendances intéressantes concernant les concentrations en nutriments dans les trois systèmes étudiés. En ce qui concerne l'azote, nous avons constaté une gestion globalement adéquate dans les forêts. A l'instar de nombreux travaux [13], [14] qui ont tous publié des travaux sur le rôle important de l'azote dans la croissance et le développement des plantes, les résultats obtenus indiquent une gestion efficace des apports en azote dans cet écosystème [15]. Ils ont montré que l'azote est un nutriment essentiel pour la synthèse des protéines, de la chlorophylle et d'enzymes essentielles à la photosynthèse.

L'azote est également impliqué dans la respiration des plantes, qui est le processus par lequel les plantes convertissent les nutriments en énergie. Une carence en azote peut entraîner une croissance ralentie, une coloration jaune des feuilles et une diminution du rendement des plantes. Une carence en azote peut également rendre les plantes plus sensibles aux maladies et aux insectes nuisibles [16]. Une fertilisation azotée appropriée est essentielle pour la croissance et le développement sains des plantes [17].

Pour ce qui est du potassium, nous avons constaté une gestion globalement adéquate dans les forêts, les agroforêts et les jachères. Aucune des parcelles n'a dépassé le seuil supérieur acceptable de 30 kg/ha en K. Ces résultats indiquent une gestion efficace des apports en azote dans ces écosystèmes, ce qui est bénéfique pour la biodiversité et la fertilité du sol. Ces constatations sont cohérentes avec les travaux antérieurs [18], [19], [20] qui ont également souligné l'importance d'une gestion appropriée de l'azote pour le maintien des écosystèmes forestiers et agroforestiers.

En revanche, des dépassements de seuils ont été observés pour l'azote, le phosphore et le potassium dans certaines parcelles d'agroforêts et de jachères. Ces dépassements peuvent être préoccupants car ils peuvent entraîner des risques de pollution environnementale et de dégradation du sol. Des études antérieures [21], [22] ont également signalé des excès de phosphore et de potassium dans les jachères, ce qui peut affecter la recolonisation de la végétation native. Ces auteurs ont montré que le phosphore joue un rôle important dans la croissance des racines, la floraison, la production et le mûrissement des fruits. Le taux de Phosphore (anhydride phosphorique P_2O_5) paraît déjà relativement élevé. Il est donc inutile d'envisager apporter du phosphore, d'autant plus qu'une teneur excessive en cet élément risque de gêner l'assimilation du fer et du zinc, pour lesquels il peut y avoir blocage par antagonisme avec le phosphore. Une carence provoque l'étiollement de la racine et des tiges, ainsi qu'une décoloration des feuilles en mauve ou rouge.

Ces résultats soulignent l'importance de mettre en œuvre des pratiques de gestion appropriées pour éviter ces dépassements et préserver la fertilité du sol dans ces systèmes. L'analyse de variance (ANOVA) a également été réalisée pour évaluer les différences entre les systèmes en ce qui concerne les nutriments. Les résultats de l'ANOVA ont montré des différences non significatives entre les systèmes pour le pH, l'azote et le phosphore. Les résultats non significatifs de l'ANOVA pour le pH, l'azote et le phosphore peuvent être dus à la variabilité naturelle des sols [23], [24], à la taille de l'échantillon [25], [26], aux effets saisonniers ou environnementaux [27] et/ou à des pratiques agricoles [28] similaires entre les systèmes étudiés. Il est important de reconnaître ces facteurs lors de l'interprétation des résultats et de poursuivre les recherches pour mieux comprendre les interactions complexes qui influencent les propriétés du sol dans ces systèmes agricoles.

Cela suggère que les variations observées dans nos échantillons ne peuvent pas être attribuées à des différences significatives entre les systèmes, mais plutôt à des facteurs dues au hasard. Les résultats significatifs de l'ANOVA pour le potassium sont cohérents avec les travaux antérieurs menés dans des contextes similaires [29], [30] qui ont également noté une gestion efficace de l'azote dans les forêts; ce qui est essentiel pour soutenir la biodiversité et préserver la fertilité du sol. Cependant, l'excès de d'azote dans les agroforêts peut entraîner des risques de pollution environnementale.

5 IMPLICATIONS POUR L'AGRICULTURE DURABLE

Les résultats de cette étude ont des implications importantes pour l'agriculture durable. Ils soulignent l'importance de surveiller attentivement les niveaux de nutriments, en particulier le phosphore et le potassium, dans les agroforêts et les jachères afin de prévenir les risques de pollution et de garantir la viabilité à long terme de ces systèmes. Les pratiques de gestion agricole doivent être adaptées en fonction des caractéristiques spécifiques de chaque système pour préserver la santé du sol et la productivité agricole.

6 RECOMMANDATIONS

Suite à l'analyse approfondie des propriétés du sol dans le département d'Akoupé, nous pouvons formuler les recommandations suivantes concernant les choix culturels dans la région, pour assurer une agriculture durable dans le département d'Akoupé. Aussi, est-il

important de diversifier les cultures, de surveiller et de gérer attentivement les niveaux de nutriments dans le sol, de préserver les écosystèmes forestiers et de promouvoir l'utilisation de jachères. Ces recommandations visent à soutenir la productivité agricole tout en préservant l'environnement et la santé des sols à long terme.

7 CONCLUSION

L'étude fournit des informations essentielles sur les propriétés du sol dans trois systèmes d'aménagement des terres: les forêts, les agroforêts à base de cacaoyer et les jachères de plus de 10 ans. Les résultats indiquent une gestion adéquate de l'azote, du phosphore et du potassium dans les forêts. Des dépassements de seuils pour l'azote, le phosphore et le potassium ont été observés dans les agroforêts à base de cacaoyer, tandis que des dépassements de seuils pour l'azote dans les jachères. Ces résultats soulignent l'importance de mettre en œuvre des pratiques de gestion appropriées pour préserver la fertilité du sol dans les agroforêts à base de cacaoyer, et dans une moindre mesure dans les jachères.

Une approche équilibrée et durable de l'agriculture dans le département d'Akoupé est essentielle pour préserver la fertilité du sol, protéger l'environnement, soutenir les besoins alimentaires de la population locale et promouvoir une agriculture durable et respectueuse de l'environnement dans cette région. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour approfondir notre compréhension des mécanismes sous-jacents et des interactions complexes entre les différents facteurs environnementaux et agricoles. Cela permettra de mieux orienter les pratiques agricoles pour une gestion durable des terres. Les informations issues de l'analyse cartographique et statistique doivent être complétées par une étude plus approfondie sur le terrain et la prise en compte d'autres données contextuelles pour une compréhension complète de la répartition des parcelles dans le département.

CONTRIBUTIONS

Akotto OF et Kouamé KC ont conçu l'étude. Tous les auteurs ont contribué à l'analyse des données et à la révision du manuscrit, tandis qu'Akotto OF a rédigé le manuscrit.

DÉCLARATION D'ÉTHIQUE

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

REFERENCES

- [1] IPCC, «Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge» *University Press*, In press, doi: 10.1017/9781009157896, 2021.
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Fund for Agricultural Development (IFAD), United Nations Children's Fund (UNICEF), World Food Programme (WFP), & World Health Organization (WHO), «State of Food Security and Nutrition in the World 2019», Rome: FAO, 2019.
- [3] FAO, Climate-Smart Agriculture Case Studies 2021: Projects from around the world«, *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, 2021.
- [4] United Nations Environment Programme, «Guidance on Citations, Referencing and Style Guide for UN Environment Publications and Reports», Retrieved from <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/12197>.
- [5] A. Thomson, S. König, H. Bakhtary, and K. J. Young, «Developing Cocoa Agroforestry Systems in Ghana and Côte d'Ivoire. Climate Focus North America, Washington, DC, USA». <https://climatefocus.com/sites/default/files/Developing%20Cocoa%20Agroforestry%20Systems%20in%20Ghana%20and%20Cote%20d%27Ivoire.pdf>, 2019.
- [6] M. Zhang, and J. Liu, «Does Agroforestry Correlate with the Sustainability of Agricultural Landscapes ? Evidence from China's Nationally Important Agricultural Heritage Systems», *Sustainability*, vol. 14 no.12, pp. 7239, 2022.
- [7] A. Gassner, and P. Dobbie eds, *Agroforestry: A primer. Design and management principles for people and the environment*. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR) and Nairobi: World Agroforestry (ICRAF), 2022.
- [8] CDP, *CDP Technical Note: Relevance of Scope 3 Categories by Sector*, 2023, [Online] Available: https://cdn.cdp.net/cdpproduction/cms/guidance_docs/pdfs/000/003/504/original/CDP-technical-notescop3-relevance-by-sector.pdf?1649687608.
- [9] Z. G. Bai, D. L. Dent, L. Olsson, and M. E. Schaepman, *Global assessment of land degradation and improvement identification by remote sensing*, Wageningen: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), 2008.
- [10] B. T. A. Vroh, et Y. Koné, (2021). *Valeur écologique et produits de cueillette des plantations forestières de la Forêt classée de la Téné, Vertigo* - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], vol. 21, no. 2, | octobre 2021, mis en ligne le 12 octobre 2021, consulté le 23 juillet 2023. URL: <http://journals.openedition.org/vertigo/32783>; DOI: <https://doi.org/10.4000/vertigo.32783>.
- [11] O. F. Akotto, K. A. Alui, D. F. Malan, K. J. Kouakou, A. Yao-Kouamé, and K. Kagoyiré, «Soil landscape and stand conditions in *Cola attiensis* in Côte d'Ivoire». *International Journal of Biology*, vol. 4, no. 5, pp. 102-113, 2014.

- [12] R, Core Team, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. [Online] Available: <https://www.R-project.org/>.
- [13] J. Zhu, «Nitrogen nutrition and plant growth: a review», *Journal of Integrative Plant Biology*, vol. 58, no. 10, pp. 941-952, 2016.
- [14] Lewandowski, G., and Marschner, P., Nitrogen nutrition and plant development. In *Plant nutrition and crop productivity*, Cham, Springer, pp. 113-134, 2018.
- [15] K. Fayaz, D. Singh, V. K. Singh, D. Bashir, and L. R. Kuller, «Effect of NPK on plant growth, flower quality and yield of gerbera (*Gerbera jamesonii*)», *Research in Environment and Life Sciences*, vol. 9, no. 11, pp. 1361-1363, 2016.
- [16] Aremungla, and S. E. Topno, «Effect of N, P, K on plant growth and flower yield of zinnia (*Zinnia elegans*)». *The Pharma Innovation Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 80-83, 2022.
- [17] S. Ozukum, V. M. Prasad, and S. E. Topno, «Effect of NPK on plant growth, flower yield, and flower quality of star jasmine (*Jasminum nitidum*) cv. 'CO-1'», *The Pharma Innovation Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 1423-1428, 2022.
- [18] J. Pelletier, N. Gelinias, and C. Potvin, «Indigenous perspective to inform rights-based conservation in a protected T area of Panama,» *Land Use Policy*, pp. 297-307, 2019.
- [19] J. K. Sahu, S. K. Tamrakar, A. Tiwari, and R. Lakpale, «Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on growth and flowering of chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*)», *The Pharma Innovation Journal*, vol. 10, no. 7, pp. 1289-1292, 2021.
- [20] A. I. Osawe, «State and the Commodification of Natural Resources: A Framework of Analysis,» *African Journal of Stability & Development*, vol. 14, no. 1&2, pp. 182-205, 2022.
- [21] M. A. Ndonga, Evaluations agronomiques des champignons mycorrhiziens locaux sur la productivité du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) en sols dégradés des jachères herbeuses à Kisangani/ R.D Congo. Université de Kisangani. 2018. Français. ffNNT: ff. fftel-02010741f, 2008.
- [22] H. S. El-Beltagi, R. S. Nada, E. Mady, A. E. Ashmawi, E. A. Gashash, A. A. Elateeq, A. A. Suliman, N. A. Al-Harbi, S. M. Al-Qahtani, M. M. Zarad, and R. TO, «Effect of Organic and Bio-Fertilization on Fruit Yield, Bioactive Constituents, and Estragole Content in Fennel Fruits,» *Agronomy*, vol. 13, no. 5, pp.1189, 2023.
- [23] Lemanceau, P. P., Mazurier, S., Pivato, S., and Avoscan, L., Compréhension et valorisation des interactions entre plantes et microorganismes telluriques: des enjeux majeurs en agroécologie, Les sols et la vie souterraine: des enjeux majeurs en agroécologie, Chapitre 10, QUAE, 328 p, 2017.
- [24] Soro, N. C., Koné, B., and Soumaila, Y., *Effets de la dose et fractionnement de l'azote sur l'acidité d'un Histosol et le rendement en riziculture*, 2023. ESI Preprints. [Online] Available: <https://doi.org/10.19044/esipreprint.2.2023.p1>.
- [25] J. M. Dorioz, A. Orand, E. Pilleboue, P. Blanc, M. Colon, et J. P. Bosse, «Prélèvement et échantillonnage dans les petits bassins-versants ruraux. Revue des sciences de l'eau,» *Journal of Water Science*, vol. 4, no. 2, pp. 211-238, 1991.
- [26] J. C. Gégout, et B. Jabiol, «Analyses de sol en forêt: les choix du phytoécologue dans le cadre des typologies de stations ou des études scientifiques,» *Revue forestière française*, vol. 53, no 5, pp. 568-580, 2001.
- [27] C. S. Dekoula, B. Kouamé, E. K. N'goran, F. G. Yao, J.-N. Ehounou, et N. Soro, «Impact de la variabilité pluviométrique sur la saison culturale dans la zone de production cotonnière en Côte d'Ivoire,» *European Scientific Journal, ESJ*, vol. 14, no. 12, pp. 143, 2018.
- [28] L. F. E. Assemien, Impact de pratiques agricoles conventionnelles et innovantes sur la fertilité des sols et les acteurs microbiens impliqués dans la zone de savanes humides de Côte d'Ivoire, Université de Lyon, Université Nangui Abrogoua (Abidjan). Français. ffNNT: 2018LYSE1103ff. fftel-01896147, 2018.
- [29] C. Nguemezi, P. Tematio, M. Yemefack, D. Tsozue, and T. B. F. Silatsa, «Soil quality and soil fertility status in major soil groups at the Tombel area, South-West Cameroon,» *Heliyon*, vol. 6, no. 2, e03432, pp. 10, 2020.
- [30] S. Rodelo-Torrente, A. C. Torregroza-Espinosa, M. Pallares, P. D. Osorio, C. A. Paternina, and A. Echeverría-González, «Soil fertility in agricultural production units of tropical areas,» *Global J. Environ. Sci. Manage*, vol. 8, no. 3, pp. 403-418, 2022.