

**PROGRAMME MIXTE FAO/OMS SUR LES NORMES ALIMENTAIRES
COMITÉ DU CODEX SUR LES CONTAMINANTS DANS LES ALIMENTS****Quatorzième session
Utrecht, Pays-Bas, 20 - 24 avril 2020****AVANT-PROJET DE CODE D'USAGES POUR LA PRÉVENTION ET LA RÉDUCTION DE LA
CONTAMINATION DES FÈVES DE CACAO PAR LE CADMIUM****(À l'étape 4)**(Préparé par le groupe de travail électronique
présidé par le Pérou et co-présidé par l'Équateur et le Ghana)

Les observateurs et membres du Codex qui souhaitent présenter des observations à l'étape 3 sur ce document, devront le faire conformément aux instructions de la lettre circulaire CL 2020/20/OCS-CF, disponible sur la page Web « Lettres Circulaires » du Codex :

<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/resources/circular-letters/en/>

CONTEXTE

1. Lors de la 11^e session du Comité du Codex sur les contaminants dans les aliments (CCCF11, 2017), le Pérou a présenté une proposition de développement d'un Code d'usages visant à guider les États membres et l'industrie de la production du cacao dans la prévention et la réduction de la contamination des fèves de cacao par le cadmium (Cd) pendant les phases de production et de transformation. Le comité est convenu d'établir un groupe de travail électronique (GTE), présidé par le Pérou, afin de préparer un document de discussion pour examiner l'opportunité de développer un tel Code d'usages, ainsi que les mesures d'atténuation de risque disponibles pour étayer le développement d'un Code d'usages.¹
2. Lors du CCCF12 (2018), le Pérou a présenté le document de discussion et a souligné l'utilité de mener une enquête en vue de recueillir des informations sur des pratiques validées tout au long de la chaîne alimentaire pour la prévention et la réduction de la contamination du cacao par le cadmium, avant d'entamer de nouveaux travaux sur le développement d'un Code d'usages. En vue de recueillir ces informations, le Comité a convenu qu'une lettre circulaire serait préparée pour l'enquête et distribuée par le Secrétariat du Codex. L'avis a été exprimé que, dans les conclusions, les seuls points qui devraient être répertoriés sont ceux qui sont pertinents pour le développement du Code d'usages. Le Secrétariat du JECFA a demandé au Comité de porter une attention particulière aux mesures d'atténuation qui seraient réalisables pour une application même par des petits exploitants agricoles.
3. Le CCCF a convenu de rétablir le GTE présidé par le Pérou et co-présidé par l'Équateur et le Ghana en vue de poursuivre l'élaboration du document de discussion visant à : (i) déterminer si les mesures d'atténuation disponibles actuellement étayeraient le développement du Code d'usages et (ii) identifier le champ d'application du Code d'usages (par exemple savoir si le Code d'usages couvrira l'ensemble de la chaîne de production ou uniquement la production primaire), sur la base des réponses fournies à l'enquête. Le GTE doit concentrer ses travaux sur des mesures d'atténuation qui se sont avérées rentables et applicables dans le monde entier par de gros et de petits producteurs.²
4. Lors du CCCF13 (2019), le Pérou a introduit le document de discussion et a indiqué que les mesures de gestion des risques disponibles à ce jour étayaient le développement d'un Code d'usages durant les phases de production primaire et d'après récolte (à savoir les processus de fermentation, de séchage et de stockage). De telles mesures ont été validées en tant que mesures réalisables, rentables et applicables à l'échelle mondiale par de petits, de moyens et de gros producteurs. Des pratiques de fabrication / de transformation pouvant permettre de réduire efficacement les niveaux de cadmium dans les produits transformés (par exemple le chocolat) ne seraient pas incluses dans le champ d'application du Code d'usages, car elles n'étaient pas encore facilement disponibles. Toutefois, des études

¹ REP17/CF. par. 154-155

² REP18/CF. par. 141-146

actuellement menées dans différents pays sur la possibilité de réduire la contamination par le cadmium à différentes étapes de la chaîne de transformation, pourraient être incorporées dans le Code d'usages à l'avenir. Le Code d'usages contribuerait à réduire la contamination des fèves de cacao et des produits à base de fèves de cacao par le cadmium, et il faciliterait l'application et le respect des LM pour le cadmium dans le chocolat et les produits à base de chocolat.

5. Le CCCF13 est donc convenu de : (i) soumettre le document de projet³ à la CAC42 en vue de son approbation en tant que nouveaux travaux et (ii) établir un GTE, présidé par le Pérou et co-présidé par le Ghana et l'Équateur pour préparer, sous réserve de l'approbation de la CAC42, un projet de Code d'usages sur la base du document fourni à l'Appendice II du CX/CF 19/13/12, pour observations et examen lors de la prochaine session du Comité.⁴
6. La 42^{ème} session de la Commission du Codex Alimentarius (CAC42, 2019) a approuvé les nouveaux travaux.⁵
7. L'avant-projet de Code d'usages pour la prévention et la réduction de la contamination des fèves de cacao par le cadmium est présenté à l'Appendice I. Un document de référence fournissant la base pour les dispositions dans Code d'usages, est présenté à l'Appendice II pour information. La liste des participants est présentée à l'Appendice III.

RECOMMANDATIONS

8. Le CCCF est invité à examiner le Code d'usages tel qu'énoncé à l'Appendice I, complété des observations soumises en réponse à la lettre circulaire CL 2020/20-CF.

³ REP19/CF, Appendice VIII

⁴ REP19/CF. par. 108-112

⁵ REP19/CAC Appendice V

APPENDICE I

AVANT-PROJET DE CODE D'USAGES POUR LA PRÉVENTION ET LA RÉDUCTION DE LA CONTAMINATION DES FÈVES DE CACAO PAR LE CADMIUM (Pour observations à l'étape 3)

1. INTRODUCTION

1. L'objectif de cet avant-projet de Code d'usages est de fournir une orientation aux États membres et à l'industrie de la production de cacao dans le domaine de la prévention et de la réduction de la contamination des fèves de cacao par le cadmium (Cd) durant la production et la transformation après récolte : fermentation, séchage et stockage.
2. Le Cd est un métal lourd qui pénètre principalement dans l'environnement par le biais d'activités anthropiques telles que la transformation de minerais, la combustion de combustibles et les déchets, ainsi que l'application d'engrais contenant du phosphate et des boues d'épuration. Le Cd peut également pénétrer dans le sol de manière naturelle par l'activité volcanique, à partir de sols de schiste marin, l'érosion ou par des aérosols de sel marin.
3. Le Cd est toxique et persistant dans le sol (la demi-vie estimée du cadmium dans les sols varie de 15 à 1100 ans). Le Cd est absorbé et bioaccumulé par les cacaoyers (*Theobroma cacao* L), ce qui entraîne dans certains cas des niveaux excessivement élevés dans les fèves de cacao. Des mesures sont par conséquent requises pour prévenir la présence du Cd dans le sol et réduire son absorption.
4. Le Cd ne se trouve pas à l'état pur dans la nature. Son état d'oxydation le plus courant est +2, et on le trouve généralement associé au fer (Fe), au zinc (Zn), au plomb (Pb), au phosphore (P), au magnésium (Mg), au calcium (Ca) et au cuivre (Cu) par sa « capacité d'échange cationique ». Les concentrations de Cd dans la solution du sol dépendent essentiellement du pH du sol, qui affecte la solubilité et la mobilité du Cd. La plupart des métaux présents dans le sol tendent à être plus disponibles à un pH acide, qui en augmente la disponibilité pour les plantes.
5. Une adsorption supérieure de Cd à la surface des particules du sol est souhaitable, dans la mesure où cela réduirait la mobilité de ce contaminant dans le profil du sol et, par voie de conséquence, son impact environnemental. La concentration de métaux lourds (Cd) dans la solution du sol et, par conséquent, sa biodisponibilité et sa mobilité, sont essentiellement contrôlés par les réactions d'adsorption et de désorption à la surface des colloïdes du sol. Les facteurs du sol qui affectent l'accumulation et la disponibilité des métaux lourds comprennent le pH, la texture, les matières organiques, les oxydes et hydroxydes de fer (Fe) et de manganèse (Mn), les carbonates, la salinité et la capacité d'échange cationique.
6. Des teneurs en chlorure élevés dans les sols tendent à accroître la formation complexe de chlorure, ce qui diminue l'adsorption de Cd sur les sédiments, augmentant ainsi la mobilité du Cd et, diminuant la concentration de Cd⁺² dissous et la biodisponibilité.
7. La compréhension de la manière dont les divers systèmes de culture contribuent à ou atténuent la contamination des fèves de cacao par le cadmium, pourrait être utilisée pour développer des systèmes intégrés pour la gestion des niveaux de cadmium dans les fèves de cacao.
8. L'outil à greffer en tant que stratégie génétique avec des variétés ayant une faible accumulation de cadmium, est une option viable dans divers types de sol et avec différents niveaux de Cd.
9. Il est crucial d'identifier des zones de Cd dans un pays, d'appréhender la source de Cd dans chaque zone et de développer des stratégies spécifiques et générales pour aborder ce problème.

2. CHAMP D'APPLICATION

10. Le champ d'application de ce Code d'usages consiste à fournir une orientation sur des pratiques recommandées pour la prévention et la réduction de la contamination des fèves de cacao par le Cd avant la plantation ou pour de nouvelles plantations et durant la phase de production jusqu'à la phase de récolte et d'après récolte.

3. DÉFINITIONS

Fève de cacao : la graine du fruit du cacao composée de l'épisperme (tégument), de l'embryon et du cotylédon.

Cabosse de cacao : le péricarpe du fruit du cacao qui découle de la paroi mûrie de l'ovaire d'un fruit.

Episperme ou tégument : la couche protectrice de la graine également appelée coque lorsqu'elle est séchée. La plus externe des deux couches qui constitue le tégument s'appelle testa.

Pulpe ou mucilage : substance aqueuse, mucilagineuse et acide dans laquelle les graines sont encastrées.

Récolte et ouverture des fruits : les fruits sont récoltés manuellement et ouverts en utilisant une faucille, machette ou un bâton de bois.

Aérosols de sel marin : il s'agit des aérosols naturels les plus omniprésents dans la région océanique. Les aérosols sont l'un des principaux composants déterminant pour le forçage radiatif du système terrestre. Des mesures extensives révèlent que les processus associés à l'éclatement de la calotte glaciaire et aux vagues déferlantes, génèrent principalement des aérosols de sel marin. En termes d'aérosol marin primaire, des études ont confirmé un flux important de particules d'embruns marins submicroniques, jusqu'à des tailles de 10 nm et il est clair que comme la vitesse du vent, la température de surface de la mer affecte également la fonction de source physique des embruns marins. En termes de formation d'aérosol marin secondaire, des avancées significatives identifient une production de particules, au moins dans les zones côtières, où les oxydes d'iode sont considérés comme l'espèce dominante conduisant à la production de particules ; les contributeurs de croissance peuvent être également des produits d'oxydation d'isoprène et des acides sulfuriques.

Bioremédiation : il s'agit de l'utilisation d'organismes vivants, principalement des micro-organismes, pour dégrader des contaminants environnementaux en des formes moins toxiques.

Phytoremédiation : il s'agit d'un procédé de bioremédiation qui utilise divers types de plantes pour supprimer, transférer, stabiliser et/ou détruire des contaminants dans le sol et dans la nappe phréatique.

Émissions atmosphériques : elles sont définies comme des matières gazeuses ou particulaires indésirables relâchées dans l'atmosphère, en conséquence directe des activités de production, d'accumulation ou de consommation dans l'économie.

Traçabilité : il s'agit de la capacité de suivre le mouvement d'un aliment au travers de phases spécifique de production, transformation et distribution, à l'aide de registres.

Biodisponibilité : la biodisponibilité d'un minéral dans la nutrition peut être définie comme son accessibilité aux processus métabolique et physiologique normaux. Dans l'eau de surface et les nappes phréatiques, les sédiments et l'air, la biodisponibilité de métaux (Cd) est une fonction complexe avec de nombreux facteurs dont la concentration totale et spéciation (formes physico-chimiques) de métaux, la minéralogie, le pH, le potentiel d'oxydoréduction, la température, la teneur organique totale (à la fois particules et fractions dissoutes), et la teneur en particules en suspension, ainsi que le volume d'eau, la vitesse de l'eau et la durée de la disponibilité de l'eau, particulièrement dans les environnements arides et semi-arides. De plus, le transport par le vent et l'élimination de l'atmosphère par les précipitations (la fréquence est plus importante que la quantité) doivent être pris en compte. Nombre de ces facteurs varient de façon saisonnière et temporelle, et ils sont interdépendants.

Géodisponibilité : la géodisponibilité d'un élément ou composé chimique d'un matériau terrestre est cette portion de son contenu total qui peut être libérée vers la surface ou à proximité de la surface (ou biosphère) par des procédés mécaniques, chimiques ou biologiques naturels.

Adsorption, absorption et désorption : l'adsorption physique, chimique ou par échange est un concept qui fait référence à l'attraction et à la rétention exercées par un corps à sa surface sur les ions, les atomes ou les molécules d'un corps différent. Le terme absorption fait référence à l'amortissement exercé par un corps sur une radiation qui le traverse ; à l'attraction développée par un solide sur un liquide afin que ses molécules pénètrent à l'intérieur de sa substance ; à la capacité d'un tissu ou d'une cellule de recevoir une matière venue de l'extérieur. La désorption est le processus d'élimination d'une substance absorbée ou adsorbée.

Capacité d'échange cationique (CEC) : il s'agit d'une mesure de la capacité du sol à retenir des ions chargés positivement (ou cations). Cette propriété des sols est très importante dans la mesure où elle influence la stabilité de la structure du sol, la disponibilité des nutriments, le pH du sol et sa réaction aux engrais et autres améliorants (Hazleton et Murphy, 2007). Les composants des matières organiques et les minéraux argileux d'un sol ont à leurs surfaces des sites de charge négative qui adsorbent et retiennent les ions chargés positivement (les cations) par leur force électrostatique. Cette charge électrique est essentielle à l'apport en nutriments des plantes, car de nombreux nutriments existent sous forme de cations (par exemple Mg, K et Ca)).

Réaction d'oxydoréduction : des réactions d'oxydation et de réduction qui se produisent simultanément et elles sont connues pour être inséparables : lorsqu'un atome perd un électron, l'autre gagne un électron, complétant de ce fait le cycle d'oxydoréduction.

Réaction de complexation : il s'agit d'une réaction qui forme un « complexe ». De plus, la réaction entre un cation et un ou plusieurs anions est très importante dans les systèmes de sol. Les complexes métalliques sont des espèces stables qui sont moins susceptibles de participer aux réactions de sorption, de précipitation et même d'oxydoréduction.

Conductivité électrique : la conductivité électrique dans les métaux est le résultat du mouvement de particules chargées électriquement. Les atomes d'éléments métalliques se caractérisent par la présence d'électrons de valence, qui sont des électrons dans la couche extérieure d'un atome qui sont libres de se déplacer. De plus, elle est désignée par le symbole σ et est dotée des unités SI de siemens par mètre (S/m). La conductivité électrique d'échantillons d'eau est utilisée comme indicateur de la mesure dans laquelle l'échantillon est exempt de sel, exempt d'ions ou exempt d'impuretés ; plus l'eau est pure, plus la conductivité est faible (et plus la résistivité est haute). Les mesures de conductivité dans l'eau sont souvent exprimées en termes de conductance spécifique, par rapport à la conductivité d'une eau pure à 25 °C.

Processus de séchage : séchage des fèves de cacao soit au soleil, soit dans des séchoirs mécaniques/solaires (ou une combinaison des deux), afin de réduire la teneur en humidité et de les rendre stables pour l'entreposage.

Fermentation : processus de dégradation de la pulpe et d'initiation de changements biochimiques dans le cotylédon par des enzymes et microorganismes inhérents à l'environnement de la plantation.

Amendements du sol : ils font référence à l'ajout de toute matière dans le sol pour en améliorer les propriétés physiques et chimiques. L'application d'un amendement dépend des caractéristiques du sol. Les amendements rapportés dans les études pour l'élaboration du présent Code d'usages sont les suivants : compost (fait référence à l'humus qui est obtenu de façon artificielle lorsque des déchets organiques sont décomposés par des organismes et microorganismes bénéfiques), carbonate de magnésium, vinasse (produit dérivé de la production d'alcool de canne à sucre), zéolites (minéraux qui se distinguent par leurs capacités hydratantes et, inversement, déshydratantes, adsorbants), charbon de bois ou biocharbon, sulfate de calcium, chaux, cachaza (produit dérivé de la canne à sucre), sulfate de zinc, dolomite (carbonate de calcium et magnésium), vermicompost, canne à sucre, tourteau de palmiste, phosphate de calcium minéral, matières organiques.

Validation : obtention de preuves qu'une mesure de contrôle ou une combinaison de mesures de contrôle, mise en œuvre de manière appropriée, est en mesure de contrôler le danger en vue d'un résultat spécifié.

Échantillonnage : procédure utilisée pour prélever ou constituer un échantillon. Les procédures d'échantillonnage empiriques ou ponctuelles sont des procédures d'échantillonnage qui ne s'appuient pas sur des statistiques et servent à prendre une décision sur le lot inspecté.

Agriculture biologique : il s'agit d'un système de gestion de la production holistique de la production qui favorise et améliore la santé de l'agrosystème, y compris la biodiversité, les cycles biologiques et l'activité biologique du sol. Elle met l'accent sur l'utilisation de pratiques de gestion plutôt que l'utilisation d'apports d'origine extérieure, en tenant compte du fait que les systèmes locaux doivent s'adapter aux conditions régionales. Ceci est accompli en utilisant, dans la mesure du possible, des méthodes culturales, biologiques et mécaniques, en opposition à l'utilisation de produits de synthèse, pour remplir toute fonction spécifique au sein du système. Un système de production biologique est destiné à :

- a) améliorer la diversité biologique au sein de l'ensemble de système ;
- b) augmenter l'activité biologique du sol ;
- c) maintenir la fertilité du sol sur le long terme ;
- d) recycler les déchets d'origine végétale ou animale afin de retourner les nutriments à la terre, donc de minimiser l'utilisation de ressources non renouvelables ;
- e) s'appuyer sur des ressources renouvelables dans des systèmes agricoles organisés à l'échelle locale ;
- f) favoriser l'utilisation saine du sol, de l'eau et de l'air, et diminuer le plus possible toutes les formes de pollution de ces éléments susceptible de résulter de pratiques agricoles ;

- g) manipuler les produits agricoles en mettant l'accent sur des méthodes de transformation prudentes, en vue de préserver l'intégrité organique et les qualités vitales des produits à tous les stades ;
- h) S'installer sur toute exploitation existante pour une période de conversion dont la longueur appropriée est déterminée par des facteurs spécifiques au site, tels que l'historique de la terre, et le type de culture et de bétail qui va être produit.

Taille : suppression annuelle à partir des arbres d'ombrage et des cacaoyers, de branches qui sont sèches, mortes ou déséquilibrées.

Ombrage : cultiver des cacaoyers avec des arbres d'ombrage afin de réduire la quantité de rayonnement qui atteint la culture, et protéger des vents la culture. L'ombrage représente généralement plus ou moins 50 % durant les 4 premières années de la vie de la plante, après quoi le pourcentage d'ombre peut être réduit à 25 ou 30%.

4. **PRATIQUES RECOMMANDÉES POUR LA PRÉVENTION ET LA RÉDUCTION DE LA CONTAMINATION DES FÈVES DE CACAO PAR LE Cd**

4.1 **Contamination avant les semailles – nouvelles plantations**

- 11. La prévention et la réduction du Cd dans le cacao doit commencer par l'analyse physico-chimique du sol et elles doivent faire partie intégrante des pratiques avant les semailles ou l'établissement d'une nouvelle plantation.
- 12. Par mesure de prévention, lors de l'établissement de nouvelles plantations, les plantations de cacao doivent être situées dans des zones où la teneur en Cd est faible, de sorte que les sols agricoles ne dépassent pas 1,4 mg/kg de Cd, et la teneur en Cd de l'eau d'irrigation ne doit pas dépasser une valeur de 0,005 mg/l.
- 13. Utiliser une conception de plantations mixtes (agroforesterie) avec plusieurs variétés de cacao et différents types d'ombrage adaptés à chaque environnement écologique plutôt qu'une monoculture de cacao sans ombrage.
- 14. L'espèce la plus couramment utilisée est la famille des musaceae (bananas, moles et cambures) pour les ombres temporaires et de légumes tels que le pore ou bucare (*Erythrina* sp.) et les guabas (Ingas) pour des ombres permanentes. Dans d'autres plantations de cacao, d'autres espèces d'ombrage sont utilisées pour offrir des avantages économiques plus importants, comme les espèces exploitées pour leur bois (laurier, cèdre, cenizaro ou arbre à pluie et terminalia) et/ou les arbres fruitiers (citronnier, avocatier, sapotier, arbre à pain, dattier, etc.).
- 15. Installer les plantations dans des zones à l'écart des routes ou prendre des mesures afin de réduire l'exposition des plantations de cacao aux gaz émis par la combustion des véhicules et qui peuvent contenir du Cd (devraient se trouver à 200 mètres de la plantation de cacao au moins). De même, les plantations doivent être situées dans des zones éloignées des décharges dans les villes ou les zones minières.
- 16. Éviter les sols inondés, ils pourraient être une source de Cd.
- 17. Dans les nouvelles plantations, l'utilisation de cultures de protection de légumineuses vivaces devrait être envisagée. Les cultures de protection améliorent la matière organique des sols et peuvent les protéger de l'érosion et réduire la perte de nutriments, améliorant la productivité des sols grâce à une plus grande disponibilité de nutriments essentiels et réduisant la toxicité des métaux lourds.

4.2 **De la phase de production jusqu'à la phase de récolte**

- 18. Il est important de connaître les sources et la répartition de Cd dans le sol.
- 19. Les données suggèrent qu'il y a une corrélation positive entre des niveaux élevés de Cd dans le sol (tels que mesurés par des analyses de sols) et des niveaux élevés de Cd dans le tissu végétal et les fèves de cacao.
- 20. Les analyses de caractérisation des sols pour les plantations de cacao doivent être menées par des laboratoires qui sont accrédités avec la norme ISO/IEC 17025:2018 reconnue dans le monde entier, en utilisant des méthodes validées qui incluent l'utilisation de matériaux de référence, normes et incertitudes associées, certifiés. Il est par ailleurs très important d'effectuer des analyses de sol avec des méthodes reconnues internationalement (par exemple approuvées par le Codex Alimentarius).
- 21. Le protocole d'échantillonnage de sol doit chercher à obtenir un échantillon représentatif, car la teneur

en Cd pourrait être variable dans la même zone de production (finca ou chacra, noms espagnols pour les plantations de cacao) de cacao.

22. La détermination des sols et de la salinité (sels de chlorure de cadmium) de l'eau d'irrigation est vitale, étant donné que l'absorption du Cd par les plantes augmente avec le chlorure. Il est par conséquent important de déterminer la conductivité électrique des sols et de l'eau, qui doit être inférieure à 2 mS/cm.

4.2.1 **Stratégies d'immobilisation du cadmium dans le sol**

23. Le zinc a un effet positif sur la réduction de la teneur en Cd des fèves de cacao. L'application de sulfate de zinc est réalisée conjointement à la fertilisation équilibrée qui est exécutée chaque année dans les plantations de cacao, selon les besoins des cultures et du sol (analyse de caractérisation). Cependant, avec l'ajout de sulfate de zinc, une acidification du sol intervient, ce qui requiert l'ajout de calcaire.
24. Lorsqu'il y a une déficience en Zn dans le sol, les niveaux de Zn dans le sol doivent être augmentés. Le Cd est en concurrence avec le Zn, et le Cd est plus susceptible de pénétrer dans la plante et dans les fèves de cacao lorsque la concentration de Zn dans le sol est faible.
25. Le chaulage est une pratique de gestion agronomique qui réduit l'absorption de Cd par les cacaoyers cultivés sur des sols fortement acides, et son ajout pourrait également améliorer la nutrition et la production des cacaoyers.
26. Les méthodes les plus efficaces développées jusqu'à aujourd'hui pour diminuer la biodisponibilité du Cd, consistent à chauler le sol lorsque le pH du sol est inférieur à 5,5. Il a été démontré que le fait d'augmenter le pH de 1 unité permet de réduire de 1/10 la teneur en Cd des fèves de cacao.
27. Appliquer la chaux à faibles doses (2 à 3 MT de dolomite/ha) augmente graduellement le pH et permet d'incorporer le Ca et le Mg qui sont essentiels à la croissance du cacao, et pour précipiter le cadmium. Il convient d'éviter tout chaulage excessif.
28. De plus grandes quantités de matières organiques dans le sol réduit l'absorption du Cd. L'utilisation d'engrais organiques tels que le lisier de bétail traité, le compost, etc. augmente la teneur en matières organiques des sols et en améliore l'activité microbiologique. L'application de 3 à 4 % de matières organiques dans les plantations de cacao permet de réduire le cadmium dans les fèves de cacao.
29. L'utilisation d'engrais phosphatés et de roches sédimentaires phosphorées doit être effectué après analyse chimique, car ils contiennent généralement du cadmium en impureté. Néanmoins, le succès de la production de cacao dépend de l'ajout d'engrais phosphatés, car la teneur en phosphore des sols tropicaux est naturellement très limitée. Cependant, la concentration absolue de Cd dans l'engrais phosphaté doit être prise en compte. Les producteurs et gouvernements doivent contrôler l'utilisation d'engrais phosphatés.
30. En général, la formule pour les doses d'azote, phosphore et potassium (NPK) dans les engrais devant être appliquées à la culture du cacao varient en fonction de l'âge de la plante et des caractéristiques du sol. Il convient de vérifier l'analyse de métaux lourds avant l'application, pour s'assurer que la teneur en Cd est faible. Les sols bien alimentés en nutriments sont moins susceptibles de bioaccumuler le Cd.
31. L'application d'amendements (carbonate de magnésium ($MgCO_3$), vinasse, zéolites, humus, charbon de bois, sulfate de calcium ($CaSO_4$), cachaza et sulfate de zinc ($ZnSO_4$), en fonction des caractéristiques du sol, peut aider à réduire les concentrations de Cd dans les fèves de cacao.
32. L'application de vinasse en tant qu'engrais liquide, est une source de K qui favorise l'installation de champignons qui forment des mycorhizes dans les racines du cacaoyer, augmentant l'efficacité de la nutrition en P et immobilisant le Cd.
33. La chaux et le tourteau de canne à sucre peuvent réduire le flux de Cd dans le profil du sol. Les zéolites représentent une autre option pour les sols sablonneux et les sols à texture argileuse contenant de l'apatite.
34. Il a été démontré que le biocharbon réduit la biodisponibilité du Cd dans les fèves de cacao. Le taux de réduction est comparable à celui du chaulage et a une influence supplémentaire à celle du chaulage. Cependant, le biocharbon ou charbon activé est un amendement du sol coûteux et peut ne pas être rentable pour les producteurs de cacao.
35. Le biocharbon, le compost et leur combinaison, ont des effets significatifs sur les caractéristiques physicochimiques du sol, la disponibilité des métaux (Cd) et les activités enzymatiques dans un sol pollué par des métaux lourds.

36. Les génotypes identifiés comme ayant une faible bioaccumulation du Cd sont susceptibles d'être utilisés en tant que porte-greffes dans la production de matériels de multiplication pour réduire l'absorption du cadmium ; cependant, des études de terrain supplémentaires sont requises.
37. La souche *Streptomyces* sp. a une activité de bioremédiation, car elle réduit l'absorption de Cd dans les cacaoyers
38. Les légumes co-inoculés avec des bactéries favorisant la croissance des plantes résistant au Cd, pourraient être utiles dans la phytoremédiation de sols contaminés par le Cd et dans la biofertilisation.

4.3 Phase d'après récolte

39. Une étude expérimentale a démontré que l'égouttage du mucilage pendant une durée de 12 heures réduisait de manière significative la concentration de Cd dans les fèves de cacao de l'hybride clonal (cultivar) CCN-51. La quantité de mucilage retirée des fèves de cacao n'affectait pas les qualités physiques ou organoleptiques du cacao au moment de l'évaluation.
40. Après fermentation, les fèves de cacao devraient être séchées sur des surfaces solides propres afin d'éviter leur contamination par le sol.
41. Il convient de s'assurer que les fèves de cacao ne sont pas contaminés par les fumées ou les gaz émis par les séchoirs ou les véhicules.
42. Le processus de fermentation des fèves de cacao doit être la pratique la plus importante que toute organisation exportatrice doit exécuter pour réduire les niveaux de Cd de leurs fèves de cacao.
43. Pendant le stockage, il convient de prévenir toute contamination des fèves de cacao due à des déversements de carburant, à des fumées ou des gaz d'échappement.
44. Plus le processus de fermentation est long (80 %), moins les fèves de cacao contiennent de Cd. Le Cd des fèves peut être réduit si le pH est suffisamment acidifié durant la fermentation.
45. La souche de *Saccharomyces cerevisiae* est l'une des souches qui interviennent dans la fermentation du cacao ; par conséquent, le fait d'augmenter sa population dans un tel processus pourrait améliorer l'absorption de Cd et la sécurité du cacao.

APPENDICE II
DOCUMENT DE RÉFÉRENCE
(Pour information)

INTRODUCTION

1. Le cadmium (Cd) est un métal lourd qui pénètre principalement dans l'environnement par le biais d'activités anthropiques telles que la transformation de minerais, la combustion de combustibles et les déchets, ainsi que l'application d'engrais contenant du phosphate et des boues d'épuration. Le cadmium peut également pénétrer dans le sol de manière naturelle par l'activité volcanique, et l'érosion, ou par des aérosols de sel marin. On ne le trouve pas dans la nature à l'état pur. L'activité volcanique est la principale source naturelle d'émission de Cd dans l'atmosphère (U.S.E.P.A citée par Sarabia, 2002), les roches sédimentaires et les phosphates marins étant d'autres sources naturelles de ce métal. Son état d'oxydation le plus courant est +2, et son affinité chimique l'associe au fer (Fe), au zinc (Zn), au plomb (Pb), au phosphore (P), au magnésium (Mg), au calcium, (Ca) et au cuivre (Cu) via sa capacité d'échange cationique. Les concentrations de Cd disponible dans le sol dépendent essentiellement de son pH, qui contrôle sa solubilité et sa mobilité. Le Cd est un métal lourd toxique pour les êtres biotiques, persistant dans le sol, et sa biodisponibilité varie en fonction des propriétés du sol. Le Cd est absorbé et bioaccumulé par les cacaoyers (*Theobroma cacao* L), ce qui entraîne dans certains cas des niveaux excessivement élevés de Cd dans les fèves de cacao. Des mesures sont par conséquent requises pour réduire son absorption à partir du sol.
2. Une adsorption supérieure du Cd à la surface des particules du sol est souhaitable, dans la mesure où cela réduirait la mobilité de ce contaminant dans le profil de sol et, par voie de conséquence, son impact sur l'environnement. La concentration de métaux lourds (Cd) dans la solution du sol et, par conséquent, la biodisponibilité et la mobilité du Cd, sont essentiellement contrôlées par les réactions d'adsorption et de désorption à la surface des colloïdes du sol (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Parmi les facteurs d'un sol qui affectent l'accumulation et la disponibilité des métaux lourds, Miliarium (2009), cité par Cargua (2010), mentionne : le pH, la texture, les matières organiques, les oxydes et hydroxydes de Fe et de Mn, les carbonates, la salinité et la capacité d'échange cationique. Singh et Oeste, 2001, cités par Carrillo, M. (2010), mentionnent que les techniques d'immobilisation des métaux lourds dans les sols, essentiellement basées sur le phénomène d'adsorption, dépendent de la nature, de la concentration et de l'état physico-chimique du contaminant et des caractéristiques du sol. En outre, les processus biogéochimiques qui contrôlent la mobilité et la disponibilité du cadmium dans le sol dépendent des mécanismes de précipitation-dissolution, chélation-dissociation-complexation, minéralisation-assimilation, protonation-déprotonation, ainsi que de la formation de ligands organométalliques et la réaction d'oxydoréduction. De la même manière, la relative importance de chaque processus dépend du type de sol et de son pH, de sa température, de ses taux d'humidité et de matières organiques et des effets de la rhizosphère.
3. Gutiérrez E. et León C., 2017, rapportent que la Confédération allemande des confiseurs (BDSI) a contacté l'ambassade de Colombie en Allemagne pour l'informer du problème des résidus de métaux lourds dans le cacao et, notamment, de la présence de Cd dans les importations d'Amérique Latine, recommandé la détermination d'un seuil de cadmium dans les terres cultivées et les fèves de cacao et conclu que, si la teneur en Cd des fèves de cacao dépasse 0,5 mg/kg, elle recommandait d'étudier les origines du Cd dans les cultures afin de prendre les mesures nécessaires.
4. Le *Code d'usages concernant les mesures prises à la source pour réduire la contamination chimique des aliments* (CXC 49-2001) rapporte que l'avantage de l'élimination ou de la correction de la contamination des contaminants chimiques environnementaux (dont le Cd dans le cacao) à leur source est que cette approche préventive est plus efficace pour réduire ou éliminer le risque d'effets indésirables sur la santé, requiert moins de ressources pour contrôler les aliments et évite le rejet de produits alimentaires. Il souligne par ailleurs qu'il est important de s'intéresser à toute la chaîne de production, de transformation et de distribution, dans la mesure où la sécurité sanitaire et la qualité des aliments à d'autres égards ne sauraient être « inspectées » en fin de chaîne.
5. Par le biais du Décret suprême n° 002-2008-MINAM, le Ministère de l'Environnement 2008 du Pérou approuve les « Normes nationales pour la qualité de l'eau » et dans ses paramètres inorganiques pour l'irrigation de légumes et les boissons pour animaux, décrète une valeur de 0,005 mg/L pour le Cd.
6. Résolution ministérielle du Pérou. Le Ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation a approuvé, 2018. via la R.M. n°0451-2018-MI NAGRI <http://minagri.gob.pe/portal/resoluciones-ministeriales/rm-2018?start=65>, le document intitulé « Directives sur l'échantillonnage pour la détermination des teneurs en Cd des sols, des feuilles, des fèves de cacao et des produits du cacao », qui vise à établir des méthodes de référence pour l'échantillonnage du cadmium dans les sols, les feuilles, les fèves de cacao et les produits dérivés du cacao dans un langage uniforme, conformes aux protocoles nationaux et internationaux, qui permettent d'obtenir, au niveau national, une référence officielle dans les

différents établissements publics et privés, dans le but de pouvoir préparer de manière adéquate les mesures de réduction et de contrôle du cadmium dans les zones où il a été vérifié qu'il existe des concentrations dans les fèves supérieures à celles établies dans les normes nationales et internationales.

Ce document a été préparé dans le cadre de la mise en œuvre de la Stratégie de coopération nationale de l'Institut interaméricain de coopération pour l'agriculture (EIP-IIICA), avec les opinions approuvées des institutions qui font partie du « Groupe technique national sur le cadmium dans le cacao » intégré par la Direction générale de l'agriculture (DGA), la Direction générale des affaires environnementales et agraires (DGAAA), l'Autorité nationale de l'eau (ANA), le Service national de la santé agraire (SENASA) et l'Institut national de l'innovation agraire (INIA) du Ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation du Pérou, avec la participation de la Direction générale de la santé environnementale (DIGESA - Ministère de la Santé du Pérou), et qui spécifie les éléments clés de l'échantillonnage du Cd dans les sols, les feuilles des plantations de cacao, les fèves de cacao, l'eau des zones de plantations de cacao, les produits dérivés du cacao (chocolat, pâte et poudre de cacao), ainsi que l'accréditation des laboratoires et des méthodes d'analyse des entités nationales ou internationales.

7. La Résolution ministérielle susnommée présente les facteurs qui déterminent l'absorption du Cd par les plantes, telle que représentée ci-dessous :

Tableau 1. Facteurs édaphiques et des cultures qui déterminent l'absorption de Cd par les plantes :

Facteurs	Effet sur l'absorption du cadmium par les plantes
Les facteurs édaphiques dans la liste comprennent la texture et l'activité microbiologique du sol.	
1. pH	L'absorption augmente lorsque le pH diminue (sols acides)
2. Salinité du sol	L'absorption augmente avec la salinité.
3. Quantité de cadmium	L'absorption augmente avec la concentration de Cd
4. Micronutriments	Une déficience en zinc et en Mn augmente l'absorption
5. Macronutriments	Peuvent augmenter ou réduire l'absorption
6. Température	De hautes températures augmentent l'absorption
Facteurs des cultures	
7. Espèces et cultivars	Légumes > Racines > Céréales > Fruits Signification : Les légumes absorbent plus que les racines, qui absorbent plus que les céréales, qui absorbent plus que les fruits.
8. Tissu de la plante	Feuilles > grain > fruits et racines comestibles
9. Age des feuilles	Vieilles feuilles > jeunes feuilles

Source : (McLaughlin, Mike. 2016)

Par ailleurs, les matières organiques présentes dans le sol ont également une influence : plus le sol en contient, moins il absorbe. Le cacao dans les systèmes d'agroforesterie peut présenter des concentrations inférieures en Cd (Gramlich 2017), mais de plus amples travaux doivent être réalisés pour le confirmer.

8. D. John et S. Leventhal (1995), citant McKinney et Rogers (1992), ont mentionné que l'un des métaux d'un intérêt majeur dans les études de biodisponibilité par l'Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA), était le cadmium. John et Leventhal ont également souligné que la bioaccumulation de métaux par les biotes dans l'eau de surface et par les plantes et animaux dans les environnements terrestres, peut affecter négativement les humains. En outre, leur section intitulée « Specific Metals of Interest – Cadmium », souligne :

- Le potentiel d'oxydoréduction de systèmes sédiments-eau exerce une régulation de contrôle sur l'association chimique de particules de Cd, alors que le pH et la salinité affectent la stabilité de ses diverses formes (Kersten 1988).

- Dans les environnements anoxiques, pratiquement toutes les particules de Cd sont complexées par une matière organique insoluble ou liées à des minéraux sulfurés.
 - La greenockite (CdS), sulfure de cadmium chimique, a une solubilité extrêmement faible dans des conditions réductrices, diminuant ainsi la biodisponibilité du Cd.
 - L'oxydation de sédiments réduits ou l'exposition à un environnement acide, entraîne la transformation du Cd lié au sulfure insoluble en hydroxyde, carbonate et autres formes échangeables plus mobiles et potentiellement biodisponibles (Kersten, 1988).
 - Des études de sédiments de lacs et fluviaux indiquent que la plupart du cadmium est lié à un site échangeable, une fraction de carbonate, et à des minéraux d'oxydes de fer-manganèse, qui peuvent être exposés à des modifications chimiques au niveau de l'interface sédiment-eau, et sont susceptibles de remobilisation dans l'eau (Schintu et autres, 1991).
 - Dans l'eau oxydée, quasi neutre, le CdCO_3 limite la solubilité du Cd^{2+} (Kersten, 1988).
 - Dans une rivière polluée par l'exploitation minière de métaux communs, le cadmium était le métal le plus mobile et potentiellement disponible, et il était principalement piégé par des minéraux de carbonate non diétritiques, des matières organiques et des minéraux d'oxydes de fer-manganèse (Prusty et autres, 1994).
 - Des teneurs en chlorure élevées tendent à accroître la formation complexe de chlorure, ce qui diminue l'adsorption de cadmium sur les sédiments, augmentant ainsi la mobilité du cadmium (Bourg, 1988) et, diminuant la concentration de Cd^{+2} dissous et la biodisponibilité (Luoma, 1983).
9. Smolders (2001), examinant les facteurs affectant le transfert du cadmium du sol et de l'air vers les plantes, a conclu que les concentrations de Cd dans les cultures sont fortement influencées par les propriétés du sol qui contrôlent la disponibilité du Cd dans le sol. Même à des concentrations de fond de Cd dans le sol, il est vraisemblable que la concentration de Cd dans les cultures dépasse les limites de commercialisation. Cette situation a été constatée dans des sols avec une salinité au chlorure et une déficience en Zn et dans les cultures telles que les graines de tournesol et les grains de blé dur qui contiennent généralement de fortes concentrations de Cd. Le dépôt direct de Cd à partir de l'air est un itinéraire direct potentiel par lequel le Cd peut pénétrer dans la chaîne alimentaire humaine. La preuve expérimentale examinée ici, indique que cette voie peut être ignorée dans des zones avec de faibles taux de dépôt de Cd ($<2 \text{ g Cd ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$, typique de la plupart des zones rurales en Europe). Cependant, le Cd atmosphérique peut être une source dominante de Cd dans les cultures si le dépôt de Cd est manifestement élevé ($>10 \text{ g Cd ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$), une situation susceptible de se produire aux environs de fonderies pyrométallurgiques.
 10. Dans sa recherche appliquant la chaux, Schneider, L (2016) a effectué une expérience de terrain utilisant des cacaoyers (CCN-51) âgés de 5 à 6 ans dans la province de Tocach, Pérou, et a montré que l'application en surface de chaux dans les plantations de cacao est réalisable et peut apporter des changements positifs au niveau des propriétés du sol, même sur une période de temps plutôt courte. Le chaulage permettait une augmentation du pH de la couche arable et une diminution de la disponibilité du Cd comparé aux parcelles témoin.
 11. Barraza et al (2019), dans la première étude pilote employant des mesures couplées d'isotopes et de concentration de Cd pour étudier les systèmes sol – cacao, a effectué des analyses pour 29 échantillons de sols, amendements de sol et organes de cacaoyers à partir de fermes biologiques en Équateur qui récoltent trois cultivars distincts de cacao, a conclu : premièrement, la plupart des échantillons de sol d'une profondeur de 0 à 80 cm ont une valeur $\delta^{114/110} \text{ Cd}$ relativement uniforme d'environ - 0,1 0/00 à 0 0/00. Cependant, un échantillon de 60 à 80 cm est appauvri en Cd et plus léger isotopiquement, en accord avec une signature atmosphérique. De plus, deux échantillons de 0 à 5 cm de couches arables ont de fortes concentrations de Cd associées à de lourdes compositions d'isotopes de Cd de $\delta^{114/110} \text{ Cd} \approx 0,2 \text{ ‰}$. La signature isotopique distincte suggère qu'il est improbable que l'enrichissement soit dérivé d'engrais au P organiques ou minéraux, de contributions atmosphériques naturelles ou anthropiques ou de sédiments provenant d'un cours d'eau proche. Les ajouts de Cd sont probablement plutôt issus de la décomposition de détritiques d'arbres. Une étude complémentaire est requise, cependant, afin de déterminer si l'enrichissement en Cd reflète l'utilisation récente de détritiques d'arbres en tant qu'engrais dans les plantations de cacao, ou une accumulation naturelle de Cd provenant de la décomposition de matières arboricoles sur une échelle de temps beaucoup plus longue. Deuxièmement, les fèves des trois cultivars de cacao étudiés semblent présenter des différences dans les signatures d'isotopes de Cd. Dans le détail, les fèves de plantes hybrides CCN-51 ne présentent aucun fractionnement d'isotopes de Cd résoluble par rapport aux feuilles, tandis que le cultivar Nacional pur a des fèves qui affichent une valeur $\delta^{114/110} \text{ Cd}$ plus basse que les feuilles, avec des valeurs $\Delta^{114/110} \text{ Cd}_{\text{fève-feuille}}$ de - 0,34 0/00 et - 0,40 0/00. En tant que telles,

les données peuvent suggérer que les cultivars Nacional et CCN-51 diffèrent au niveau des mécanismes moléculaires qui sont employés pour la translocation et la séquestration de Cd entre les feuilles, les cabosses et les fèves de cacao. En résumé, ces résultats suggèrent que des études complémentaires, plus complètes, couplées d'isotopes et concentration de Cd doivent être effectuées en vue de confirmer si de telles analyses fournissent en effet des contraintes utiles sur l'origine et le cycle du Cd dans les systèmes sol – cacao et le partitionnement de Cd au sein du cacaoyer. Le consultant péruvien de la SENASA suggère qu'en général, il pourrait y avoir des différences entre les fèves de cacao indigènes et les fèves hybrides CCN-51.

12. Le tableau 2 ci-dessous présente les facteurs qui affectent la biodisponibilité du Cd dans les fèves de cacao.

Tableau 2. Biodisponibilité du cadmium par les fèves de cacao

Facteur	Effet sur la biodisponibilité du cadmium dans les fèves de cacao
Nutrition du sol et déficience en nutriments spécifiques. L'analyse du sol devrait recommander les niveaux appropriés pour la fertilisation et apporter les corrections correspondantes ; il y a également un effet de dilution supérieur.	Les sols bien alimentés en nutriments sont moins susceptibles de bioaccumuler le Cd.
Minéraux d'oxydes et hydroxydes de Fe et Mn	Ils éliminent la biodisponibilité potentielle du Cd. Ils sont contrôlés principalement par les réactions d'adsorption et de désorption à la surface des colloïdes du sol.
pH du sol	• Plus l'acidité est forte, plus le niveau d'accumulation de Cd est élevé. • Réduit la biodisponibilité du cadmium et son assimilation par les tissus.
Teneur en matières organiques	• Réagit avec le Cd pour donner des chélates et le Cd reste en position non disponible pour les plantes. • Les matières organiques permettent d'obtenir une capacité d'échange cationique supérieure. • Dans des conditions acides, les matières organiques du sol régissent la disponibilité du cadmium. • Elles fournissent du carbone aux microorganismes du sol en augmentant leur activité enzymatique, volatilisant le cadmium. • Ont des sites chargés négativement sur leurs surfaces, qui absorbent et retiennent des ions chargés positivement (cations) par la force électrostatique
Chaulage Doit être appliqué avant les semailles en fonction des caractéristiques du sol et doit être répété tous les 2 ou 3 ans.	• Augmente le pH dans la partie supérieure du sol. • Diminue la disponibilité du Cd • La méthode la plus efficace développée jusqu'à aujourd'hui pour diminuer la biodisponibilité du Cd, consiste à chauler le sol lorsque son pH est inférieur à 5,5. • En faibles doses (2 à 3 MT de dolomite/ha), pour augmenter graduellement le pH et incorporer le Ca et le magnésium essentiels à la croissance du cacao, et précipiter le Cd.
Biocharbon, compost et leur combinaison. Ces amendements sont des sources organiques (procurent du carbone). Le biocharbon a une surface spécifique plus importante et une plus grande capacité à retenir les métaux lourds.	Ils ont des effets significatifs sur la disponibilité de métaux lourds (Cd) dans des sols fortement contaminés, sur les caractéristiques physicochimiques du sol et sur les activités enzymatiques dans les sols contaminés par des métaux lourds.
Texture du sol	Plus grande accumulation dans les textures moyennes (chaux), celle-ci plus grande que dans les textures fines (argiles) et plus grande que dans les textures épaisses (sable).

Facteur	Effet sur la biodisponibilité du cadmium dans les fèves de cacao
Teneur en chlorure élevée	Tend à améliorer la formation complexe de chlorure, ce qui diminue l'absorption de Cd dans les sédiments en augmentant la mobilité du Cd et en diminuant la concentration de Cd^{+2} et la biodisponibilité
Eau oxydée, quasi neutre	Limite la solubilité du Cd^{+2}
Carbonate de Cd	Limite la solubilité du Cd^{+2}
Greenockite (CdS) sulfure de cadmium chimique	Étant donné qu'elle a une solubilité extrêmement faible dans des conditions réductrices, la biodisponibilité diminue.
Texture du sol	Plus grande accumulation dans les textures moyennes (chaux), celle-ci plus grande que dans les textures fines (argiles) et plus grande que dans les textures épaisses (sable).
Cultures à feuilles	Ce sont des accumulateurs de Cd
Biocharbon, compost et leur combinaison	Ils ont des effets significatifs sur la disponibilité de métaux lourds dans des sols fortement contaminés
Fermentation et pH	Plus la fermentation est haute (80 %), moins le cadmium est présent dans les fèves de cacao. Le Cd dans les fèves peut être réduit si le pH est suffisamment acidifié durant la fermentation.
Minéraux d'oxydes de Fe et Mn	Éliminent la biodisponibilité potentielle du Cd.
Variétés de cacao. Stratégie génétique pour la greffe	Plusieurs génotypes de cacao ont une faible bioaccumulation de Cd. Avec des variétés à faible accumulation de Cd, il s'agit d'une option viable pour la multiplication.
Nutrition du sol	Les sols bien alimentés en nutriments sont moins susceptibles de bioaccumuler le Cd.
Couverture de légumineuses vivaces	Ces cultures améliorent la matière organique du sol, elles protègent contre l'érosion et réduisent la perte de nutriments, améliorant ainsi la productivité du sol en réduisant la biodisponibilité du Cd.
Concentration d'état physique et chimique du contaminant dans le sol	Le processus biogéochimique qui contrôle la mobilité et la disponibilité du Cd dans le sol dépend des mécanismes de précipitation-dissolution, chélation-dissociation-complexation, minéralisation-assimilation, protonation-déprotonation, de la formation de ligands organométalliques et de la réaction d'oxydoréduction.
Amendements de sol (MgCO_3 , vinasse, zéolites, humus, charbon de bois, CaSO_4 , cachaza et ZnSO_4)	- En fonction des caractéristiques du sol, ils peuvent servir à abaisser les concentrations de Cd dans les fèves de cacao. - La vinasse favorise l'installation de champignons qui forment des mycorhizes dans les racines du cacaoyer, augmentant l'efficacité de la nutrition en P et immobilisant le Cd.
Contamination géologique naturelle	La présence de cacaoyers dans des zones proches de centres miniers ou volcaniques, influence la bioaccumulation de Cd.

Facteur	Effet sur la biodisponibilité du cadmium dans les fèves de cacao
Engrais	Des engrais au P appliqués selon l'analyse du sol, peuvent être utiles pour augmenter la croissance et donc diluer l'augmentation de Cd dans les plantes.
Cd total	Le Cd total dans le sol n'est pas pertinent ; cependant, le cadmium disponible est plus important.
Capacité d'échange cationique	Elle réduit la phytodisponibilité du Cd ; c'est la surface des oxydes de Fe et de Mn et la capacité de chélation des matières organiques qui adsorbent le Cd et réduisent la phytodisponibilité. Les argiles des sols dont la CEC est supérieure sont généralement revêtues d'oxydes hydratés de Fe et de Mn, de sorte que les argiles sont corrélées avec l'adsorption du Cd.
Facteurs du sol comprenant : le pH, la texture, les matières organiques, les oxydes et hydroxydes de Fe et de Mn, les carbonates, la salinité et la capacité d'échange cationique.	Affectent l'accumulation et la disponibilité du Cd
Réactions d'adsorption et de désorption à la surface des colloïdes du sol	La concentration de Cd dans la solution du sol et sa biodisponibilité et sa mobilité sont contrôlées
La concentration totale, spéciation (formes physico-chimiques) de métaux, la minéralogie, le pH, le potentiel d'oxydoréduction, la température, la teneur organique totale, le volume d'eau, le transport par le vent, la vitesse de l'eau, la durée et la disponibilité de l'eau, particulièrement dans les environnements arides et semi-arides, le transport par le vent et l'élimination de l'atmosphère par les précipitations, nombre de ces facteurs varient de façon saisonnière et temporelle, et ils sont interdépendants.	Ces facteurs prédisposent l'accessibilité d'un nutriment minéral aux processus métabolique et physiologique normaux dans l'eau de surface et les nappes phréatiques, les sédiments et l'air affectent la biodisponibilité du Cd.

Source : Préparé par le GTE sur la base des références révisées

2. DÉFINITIONS

Pousses : bourgeon, greffon ou tige qui repousse dans les plantes de cacao.

Fève de cacao : la graine du fruit du cacao composée de l'épisperme (tégument), de l'embryon et du cotylédon.

Cabosse de cacao : Le péricarpe du fruit du cacao qui découle de la paroi mûrie de l'ovaire d'un fruit.

Episperme ou tégument : la couche protectrice de la graine également appelée coque lorsqu'elle est séchée. La plus externe des deux couches qui constituent le tégument est appelée « testa ».

Pulpe ou mucilage : substance aqueuse, mucilagineuse et acide dans laquelle les graines sont encastrées.

Récolte et ouverture des fruits : les fruits sont récoltés manuellement et ouverts en utilisant une faucille, machette ou un bâton de bois.

Aérosols de sel marin : il s'agit des aérosols naturels les plus omniprésents dans la région océanique. Les aérosols sont l'un des principaux composants déterminant pour le forçage radiatif du système

terrestre. Des mesures extensives révèlent que les processus associés à l'éclatement de la calotte glaciaire et aux vagues déferlantes, génèrent principalement des aérosols de sel marin. De plus, O'Dowd Colin D et de Leeuw Gerrit (2007) ont conclu qu'en termes d'aérosol marin primaire, des études ont confirmé un flux important de particules d'embruns marins submicroniques, jusqu'à des tailles de 10 nm et il est clair que comme la vitesse du vent, la température de surface de la mer affecte également la fonction de source physique des embruns marins. En termes de formation d'aérosol marin secondaire, des avancées significatives identifient une production de particules, au moins dans les zones côtières, où les oxydes d'iode sont considérés comme l'espèce dominante conduisant à la production de particules. Les contributeurs de croissance peuvent être également des produits d'oxydation d'isoprène et des acides sulfuriques.

Bioremédiation : il s'agit de l'utilisation d'organismes vivants, principalement des micro-organismes, pour dégrader des contaminants environnementaux en des formes moins toxiques.

Phytoremédiation : il s'agit d'un procédé de bioremédiation qui utilise divers types de plantes pour supprimer, transférer, stabiliser et/ou détruire des contaminants dans le sol et dans la nappe phréatique.

Émissions atmosphériques : elles sont définies par le Système des comptes intégrés de l'environnement et de l'économie des Nations unies (SCIEE) comme des matières gazeuses ou particulaires indésirables relâchées dans l'atmosphère, en conséquence directe des activités de production, d'accumulation ou de consommation dans l'économie.

Traçabilité : il s'agit de la capacité de suivre le mouvement d'un aliment au travers de phases spécifique de production, transformation et distribution, à l'aide de registres.

Géodisponibilité : la géodisponibilité d'un élément ou d'un composé chimique d'un matériau terrestre est la portion de son contenu total qui peut être libérée vers la surface ou à proximité de la surface (ou biosphère) par des procédés mécaniques, chimiques ou biologiques naturels.

Adsorption, absorption et désorption : l'adsorption physique, chimique ou par échange est un concept qui fait référence à l'attraction et à la rétention exercées par un corps à sa surface sur les ions, les atomes ou les molécules d'un corps différent. Le terme absorption fait référence à l'amortissement exercé par un corps sur une radiation qui le traverse ; à l'attraction développée par un solide sur un liquide afin que ses molécules pénètrent à l'intérieur de sa substance ; à la capacité d'un tissu ou d'une cellule de recevoir une matière venue de l'extérieur. La désorption est le processus d'élimination d'une substance absorbée ou adsorbée.

Capacité d'échange cationique (CEC) : il s'agit d'une mesure de la capacité du sol à retenir des ions chargés positivement (ou cations). Cette propriété des sols est très importante dans la mesure où elle influence la stabilité de la structure du sol, la disponibilité des nutriments, le pH du sol et sa réaction aux engrais et autres améliorants (Hazleton et Murphy, 2007). Les composants des matières organiques et les minéraux argileux d'un sol ont à leurs surfaces des sites de charge négative qui adsorbent et retiennent les ions chargés positivement (les cations) par leur force électrostatique. Cette charge électrique est essentielle à l'apport en nutriments des plantes, car de nombreux nutriments existent sous forme de cations (tels que le magnésium, le potassium et le calcium).

Réaction d'oxydoréduction : des réactions d'oxydation et de réduction qui se produisent simultanément et elles sont connues pour être inséparables : lorsqu'un atome perd un électron, l'autre gagne un électron, complétant de ce fait le cycle d'oxydoréduction.

Réaction de complexation : il s'agit d'une réaction qui forme un « complexe ». De plus, la réaction entre un cation et un ou plusieurs anions est très importante dans les systèmes de sol. Les complexes métalliques sont des espèces stables qui sont moins susceptibles de participer aux réactions de sorption, de précipitation et même d'oxydoréduction.

Conductivité électrique : la conductivité électrique dans les métaux est le résultat du mouvement de particules chargées électriquement. Les atomes d'éléments métalliques se caractérisent par la présence d'électrons de valence, qui sont des électrons dans la couche extérieure d'un atome qui sont libres de se déplacer. De plus, elle est désignée par le symbole σ et est dotée des unités SI de siemens par mètre (S/m). La conductivité électrique d'échantillons d'eau est utilisée comme indicateur de la mesure dans laquelle l'échantillon est exempt de sel, exempt d'ions ou exempt d'impuretés ; plus l'eau est pure, plus la conductivité est faible (et plus la résistivité est haute). Les mesures de conductivité dans l'eau sont souvent exprimées en termes de conductance spécifique, par rapport à la conductivité d'une eau pure à 25 °C.

Processus de séchage : séchage des fèves de cacao soit au soleil, soit dans des séchoirs mécaniques/solaires (ou une combinaison des deux), afin de réduire la teneur en humidité et de les rendre stables pour l'entreposage.

Fermentation : processus de dégradation de la pulpe et d'initiation de changements biochimiques dans le cotylédon par des enzymes et microorganismes inhérents à l'environnement de la plantation.

Amendements du sol : ils font référence à l'ajout de toute matière dans le sol pour en améliorer les propriétés physiques et chimiques. L'application d'un amendement dépend des caractéristiques du sol. Les amendements rapportés dans les études pour l'élaboration du présent Code d'usages sont les suivants : compost (fait référence à l'humus qui est obtenu de façon artificielle lorsque des déchets organiques sont décomposés par des organismes et microorganismes bénéfiques), charbon de bois ou biocharbon, carbonate de magnésium, vinasse (produit dérivé de la production d'alcool de canne à sucre), zéolites (minéraux qui se distinguent par leurs capacités hydratantes et, inversement, déshydratantes, adsorbants), sulfate de calcium, chaux, cachaza (produit dérivé de la canne à sucre), sulfate de zinc, dolomite (carbonate de calcium et magnésium), vermicompost, canne à sucre, tourteau de palmiste, phosphate de calcium minéral, matières organiques.

Validation : obtention de preuves qu'une mesure de contrôle ou une combinaison de mesures de contrôle, mise en œuvre de manière appropriée, est en mesure de contrôler le danger en vue d'un résultat spécifié. (CXC 1- 1969), avec le soutien de (CXG 69-2008)

Échantillonnage : procédure utilisée pour prélever ou constituer un échantillon. Les procédures d'échantillonnage empiriques ou ponctuelles sont des procédures d'échantillonnage qui ne s'appuient pas sur des statistiques et servent à prendre une décision sur le lot inspecté. (CXC 50-2004).

Agriculture biologique

Dans les *Directives pour la production, la transformation, l'étiquetage et la commercialisation d'aliments produits selon des procédés biologiques* (CXG 32-1999), le Comité du Codex sur l'étiquetage des aliments a stipulé que l'agriculture biologique est un système de gestion de la production holistique de la production qui favorise et améliore la santé de l'agrosystème, y compris la biodiversité, les cycles biologiques et l'activité biologique du sol. Elle met l'accent sur l'utilisation de pratiques de gestion plutôt que l'utilisation d'apports d'origine extérieure, en tenant compte du fait que les systèmes locaux doivent s'adapter aux conditions régionales. Ceci est accompli en utilisant, dans la mesure du possible, des méthodes culturales, biologiques et mécaniques, en opposition à l'utilisation de produits de synthèse, pour remplir toute fonction spécifique au sein du système. Un système de production biologique est destiné à :

- a) améliorer la diversité biologique au sein de l'ensemble de système ;
- b) augmenter l'activité biologique du sol ;
- c) maintenir la fertilité du sol sur le long terme ;
- d) recycler les déchets d'origine végétale ou animale afin de retourner les nutriments à la terre, donc de minimiser l'utilisation de ressources non renouvelables ;
- e) s'appuyer sur des ressources renouvelables dans des systèmes agricoles organisés à l'échelle locale ;
- f) favoriser l'utilisation saine du sol, de l'eau et de l'air, et diminuer le plus possible toutes les formes de pollution de ces éléments susceptible de résulter de pratiques agricoles ;
- g) manipuler les produits agricoles en mettant l'accent sur des méthodes de transformation prudentes, en vue de préserver l'intégrité organique et les qualités vitales des produits à tous les stades ;
- h) S'installer sur toute exploitation existante pour une période de conversion dont la longueur appropriée est déterminée par des facteurs spécifiques au site, tels que l'historique de la terre, et le type de culture et de bétail qui va être produit.

Taille

Rodriguez, T. (2002) cité par Torres, O. (2016), mentionne qu'une taille annuelle est suffisante mais qu'elle doit être aussi complète que possible. Tout d'abord les arbres d'ombrage doivent être taillés, puis les plantes de cacao, dont les branches sèches, mortes ou qui détériorent l'équilibre de la plante, sont éliminées. La suppression de pousses et un nettoyage général doivent être effectués plusieurs fois par an, dès que nécessaire pour préserver la santé et le développement correct de l'arbre et la récolte.

Ombrage

Alvim (2000) cité par Torres, O. (2016) rapporte que le cacao est typiquement une culture ombrophile. L'objectif de l'ombrage au début de la plantation, est de réduire la quantité de rayonnement qui atteint la culture afin de réduire l'activité de la plante et de protéger la culture contre les vents qui pourraient lui nuire. Lorsque la culture est établie, le pourcentage d'ombre peut être réduit à 25 ou 30 %.

3. **Stratégies pour l'atténuation du cadmium dans les fèves de cacao**

13. Pour éviter la bioaccumulation de Cd dans les fèves de cacao, différentes stratégies doivent être mises en œuvre en tenant compte des particularités de chaque système agroécologique et de production (biologique, conventionnel ou de cacaoyers dans un système d'agroforesterie), afin qu'ensemble elles contribuent à atténuer les niveaux de Cd dans les plantations qui en ont besoin.

- 3.1. Conformément aux travaux de recherche disponibles, il est recommandé d'adopter les approches suivantes :

3.1.1. **Dans les nouvelles plantations :**

14. Installer les plantations sur des sols agricoles présentant moins de 1,4 mg/kg de Cd au total. (CCME, Canada, 1999 ; DS 011-2017 MINAM, Pérou). Par ailleurs : les limites de Cd dans le sol des nouvelles plantations devraient être liées aux propriétés du sol : principalement le pH, chlorure et Zn dans le sol seraient importants dans la prise de décisions ; les matières organiques, argile, oxydes de Fe et Mn sont moins importants.
15. Utiliser une conception de plantations mixtes (agroforesterie avec différentes variétés de cacao et différents types d'ombrage (bananiers, ingas, etc.), adaptés à chaque environnement écologique, plutôt qu'une monoculture de cacao sans ombrage). Observation de la Suisse : Gramlich (2017) a démontré qu'il pouvait y avoir un effet positif, mais des recherches supplémentaires doivent être réalisées à ce sujet. L'association des exportateurs ADEX, Pérou, affirme que conformément à l'évaluation de fermes déjà en production, le système d'agroforesterie fonctionne bien les 2-3 premières années de plantation, car les jeunes plants se développent mieux à l'ombre, ce qui les aide à être mieux adaptés pour résister aux périodes de sécheresse naturelle dans la région. Chez les plants adultes, l'ombrage favorise la prolifération de maladies (candidose et balai de sorcière).

Sources : <http://www.senasa.gob.pe/senasa/moniliasisdel-cacao/>; <http://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/010-f-cacao CULTIVOS.pdf>

16. Installer les plantations à l'écart des routes ou prendre des mesures afin de prévenir le contact des plantations de cacao avec les gaz émis par la combustion des véhicules qui peuvent contenir du Cd. Les plantations doivent également être tenues éloignées des décharges dans les villes ou des zones minières. À cet égard, dans les grandes plantations de cacaoyers, il est important de prendre en compte la disposition des routes, qui devraient être espacées de 200 mètres (Technoguide SMIARC 2014) par rapport aux fermes. L'USFDA observe que le trafic automobile n'est pas une source de Cd, les pneus étant peu chargés en Cd mais très riches en Zn, le risque de Cd est nul. Elle indique également que, pendant une période entre les années 1970 et l'an 2000 environ, certains radiateurs d'automobiles avaient des soudures au Cd, une utilisation à laquelle il a été mis un terme depuis. L'essence ne contenant pas de Cd, les gaz d'échappement ne sont pas une source de contamination par le Cd. L'OSAV suisse, souligne que les sédiments issus de l'eau contaminée des zones d'exploitation minière pourraient devenir un problème en dehors du centre d'exploitation, en fonction de la taille des particules émises, et la distance de dépôt à partir de la source d'émission.

17. Dans les nouvelles plantations, l'utilisation d'une couverture de légumineuses vivaces devrait être envisagée. Les cultures de protection améliorent la matière organique des sols. Les cultures de protection peuvent protéger les sols de l'érosion et réduire la perte de nutriments, améliorant ainsi la productivité des sols grâce à une plus grande disponibilité des nutriments essentiels et réduisant la toxicité des métaux lourds (Observation de l'USFDA).

3.1.2. **Dans les plantations déjà installées :** Stratégies d'immobilisation du Cd dans le sol et de réduction de sa disponibilité dans le sol

18. Guo, G., et al (2006) mentionnent que les amendements organiques pour l'immobilisation du cadmium sont les suivants : sciure d'écorce (de l'industrie du bois), chitosane (de l'industrie de la conserve de viande de crabe), fumier de volaille (de fermes avicoles), fumier de bétail (de fermes d'élevage), balles de riz (de la transformation du riz), boues d'épuration, feuilles et paille. De même, ils signalent les amendements inorganiques suivants : chaux (des usines de chaux), sel de phosphate (d'usines d'engrais), hydroxyapatite (de la phosphorite), cendres volantes (de centrales thermiques) et scories (de centrales thermiques).
19. Augmenter les concentrations de Zn et de Mn dans le sol. Il a été démontré qu'en cas de déficience de ces micronutriments, le Cd est plus susceptible d'entrer dans la plante et dans les fèves de cacao. Les analyses scientifiques montrent que le déséquilibre entre les micronutriments et le Cd a un impact important sur l'absorption du Cd et sur la haute teneur en Cd des fèves de cacao. Pour les plantations « biologiques », il n'existe aucune source commerciale de Zn « biologique » en dehors des minerais, qui contiennent cependant du Cd à hauteur d'environ 1 % de leur teneur en Zn et ne devraient dès lors pas servir d'engrais « biologiques ». L'application de ZnSO₄ ou autres sels Zn solubles ou chélates sur

les feuilles des cacaoyers peut être en mesure d'inhiber le transfert du Cd vers les fruits. Des essais sur champs ont démontré que la pulvérisation de Zn réduit la translocation du Cd vers plusieurs fèves de cacao. La possibilité de pulvériser du Zn pour inhiber le mouvement du Cd vers les fruits du cacao pourrait être évaluée dans le cadre d'essais sur champs réalisés sur plusieurs années. L'action de la pulvérisation de Zn sur les feuilles est distincte des possibles effets de l'emploi d'engrais au Zn pour inhiber l'absorption de Cd par les racines (notons une nouvelle fois la nécessité d'inclure du calcaire pour neutraliser l'acidification résultant de l'emploi de ZnSO_4 ou autres sels de Zn sur les sols).

20. Appliquer des doses limitées de chaux (3 Mt/ha/an) et de préférence de la dolomite $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ afin d'augmenter graduellement le pH et d'incorporer du Ca et du Mg, qui sont essentiels à la croissance du cacao et peuvent précipiter le Cd, diminuant ainsi sa biodisponibilité. De plus amples recherches sont nécessaires sur le sujet car certaines variétés de cacao poussent bien sur des sols légèrement acides et pourraient être affectées par l'augmentation du pH. Il est important de reconnaître que l'application superficielle de « produits à la chaux » dans des plantations de cacao établies ne peut pas augmenter le pH de la zone des racines avant des décennies en raison de la faible solubilité du CaCO_3 dans l'eau et, donc, du faible taux d'infiltration de l'alcalinité des amendements calcaires appliqués en surface. L'étude de plusieurs méthodes d'augmentation du pH des couches inférieures du sol a démontré que combiner des matières organiques biodégradables avec des produits à la chaux permettait au métabolisme des matières organiques d'induire une infiltration de l'alcalinité dans les couches inférieures du sol (voir Brown et al., 1997 ; Tester et al. 1990 ; Liu et Hue et al. 2001 ; et Tan et al., 1986). Après l'étude d'amendements de biocharbon et chaux in vitro, en serre et dans des expériences de terrain, Ramtahal et al, 2019 ont conclu que leur étude laisse supposer que les deux amendements étaient complémentaires dans leur action et qu'ils peuvent être utilisés dans les proportions recommandées pour réduire la bioaccumulation de Cd. Cependant, des études complémentaires sont requises sur le placement d'amendements afin d'améliorer leur efficacité et leur longévité, particulièrement dans les conditions de terrain. En outre, il est important d'ajuster le niveau de chaux en fonction de l'analyse du sol réalisée par un laboratoire réputé en la matière. La précipitation du Cd dans les sols ne peut être forcée, à l'exception des sols hautement calcaires. L'augmentation du pH entraîne une plus forte adsorption du Cd du sol par les oxydes de Fe et de Mn et les matières organiques qu'il contient. Il convient d'éviter tout chaulage excessif. L'office de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (OSAV) suisse mentionne qu'aucune recherche de terrain réalisée dans des plantations existantes n'a été publiée pour montrer les dosages, etc. et leur effet sur l'absorption de Cd et sur la concentration de Cd dans les fèves.
21. Une expérience de terrain réalisée sur 18 mois réalisée afin d'évaluer l'efficacité du chaulage sur le pH, la biodisponibilité du Cd dans les sols et son passage dans les tissus du cacao a conclu que l'assainissement par chaulage des sols des plantations de cacao contaminés par le Cd pour en réduire la concentration semblait faisable d'après les résultats des essais réalisés en laboratoire et sur le terrain à Trinité-et-Tobago (Ramtahal, G. et al., 2018).
22. Augmenter la teneur en matières organiques du sol et améliorer son activité microbiologique en appliquant des engrais ou des engrais biologiques tels que le lisier de bétail traité des aires d'engraissement et du bétail des fermes, le compost ou le bokashi, notamment. Il est pour ce faire important de connaître préalablement la teneur en Cd des intrants à utiliser. Le Tableau n°2 montre les contributions estimées, les quantités minimale et maximale de Cd ajouté aux sols agricoles par différentes sources (mg/kg) et le tableau n°3 montre la concentration de cadmium dans les roches.

Tableau 3 : Contributions estimées des métaux lourds ajoutés aux sols agricoles par différentes sources (mg/ kg), fourchette (quantité minimale à maximale)

Métal lourd	Engrais phosphatés	Engrais azotés	Produits de protection des plantes (pesticides)	Lisier	Boues d'épuration
Cd	0,1 - 170	0,05 - 8,5	1,38 - 1,94	0,3 - 0,8	2 - 1500

Source : Sánchez, 2003 ; Mico, 2005 ; Peris, 2006 ; Delgado, 2008. Cités par Rueda, Rodriguez et Madriñan, 2011

Tableau 4 : Concentration de cadmium dans les roches

Type de roche	Fourchette en mg/kg	Moyenne en mg/kg
Roches magmatiques		
Rhyolites	0,03 – 0,57	0,230
Granites	0,01 – 1,60	0,200
Basalte	0,01 – 1,60	0,130
Roches sédimentaires		
Schistes et argiles	0,017 - 11	-
Schistes noirs	0,30 - 219	
Grès et conglomérats	0,019 - 0,4	-
Carbonados	0,007 - 12	0,065
Phosphorites	< 10 - 980	-
Charbon	0,01 - 300	-
Dépôts de minéraux de soufre		
Sphalérite (SZn)	0,02 – 0,4 (< 5 %)	-
Galène (SPb)	< 0,5 %	
Tetraédrite, tennantite (CuSZn)	0,24%	
Métacinabre (HgS)	11,70	

Source : Alloway, 1995

23. Afin de procurer plus d'informations sur l'influence de pratiques agricoles, les moyennes arithmétiques qui constituent une meilleure mesure de tendance centrale sont examinées aux fins d'une meilleure explication sur l'interférence statistique des concentrations de cadmium exposées dans le tableau 2. À cet effet, les paragraphes suivants montrent certaines sources citées par Rueda, Rodriguez et Madriñan (2011) ;
24. De Meeûs, C.; Eduljee, G.H.; Hutton, M. (2002) cités par Mico (2005), ont constaté en 1989, que la contribution moyenne de Cd à partir des engrais phosphatés était d'environ 2,5 g de Cd par ha et par an, pour les sols agricoles des pays de l'Union européenne, ce qui revient à supposer que 50 % de la contribution totale dans les sols n'est pas affectée par d'autres activités polluantes telles que les activités industrielles, par exemple.
25. Mico (2005) a cité certaines études, par exemple Jinadasa, K.B.P.N.; Milham, P.J.; Hawkins, C.A.; Cornish, P.S.; Williams, P.A.; Kaldor, C.J.; Conroy, J.P. (1997), qui corroborent les résultats cités dans le paragraphe précédent, étant donné qu'elles trouvent des teneurs en Cd supérieures dans les sols cultivés (moyenne de 1,3 mg/kg) par rapport aux sols non cultivés (moyenne de 0,36 mg/kg), en raison

de l'usage intensif d'engrais phosphatés.

26. Dans son étude comparative des teneurs en métaux lourds (en mg/kg de sol sec) dans des sols avec différentes textures ($\bar{X} \pm DE$), Mico (2005) a trouvé pour le Cd les valeurs suivantes pour : Textures fines (n=36) $0,34 \pm 0,17$; textures moyennes (n=15) $0,35 \pm 0,25$; textures épaisses (n=3) $0,26 \pm 0,22$; concluant que la séquence d'accumulation de métaux lourds, en fonction de la texture du sol, suit l'ordre ci-dessous : Cd : Textures moyennes > Textures fines > Textures épaisses et que dans le cas du Cd, les sols avec des textures moyennes contiennent une valeur moyenne légèrement supérieure à ceux avec des textures fines, bien que les deux résultats soient similaires et qu'ils puissent être considérés comme comparables.
27. Mico (2005) a constaté que les teneurs de Cd extractibles dans la zone d'étude s'étendaient de 0,01 mg/kg (MPA - 02 et 28) à 0,14 mg/kg (MPA - 18 et MPA - 47), avec une valeur moyenne de 0,08 mg/kg. Par ailleurs, il signale que sur le terrain international, McLaughlin, M.J.; Maier, N.A.; Ryament, G.E.; Sparrow, L.A.; Berg, G.; McKay, A.; Milham, P.; Merry, R.H.; Smart, M.K. (1997) obtiennent une valeur moyenne de 0,18 mg/kg dans les sols cultivés avec des pommes de terre en Australie ; tandis que McGrath (1996) obtient une valeur moyenne de 0,52 mg/kg dans les sols agricoles d'Irlande.
28. Peris (2006) a étudié des sols avec cultures horticoles dans la province de Castellon, Espagne, à partir de 77 échantillons prélevés dans des parcelles sélectionnées de manière aléatoire. Les parcelles étaient caractérisées par l'analyse des caractéristiques et propriétés édaphiques du sol et les teneurs totales et extractibles de métaux lourds (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn) dans les sols. De plus, les teneurs en métaux dans trois cultures caractéristiques de la zone d'étude, telles que la bette, la laitue et l'artichaut, ont été analysées dans 30 parcelles. Les résultats obtenus sont :
 - Les sols sont généralement basiques (pH=8,1 de valeur moyenne ; avec une plage de variation de 7,5 à 8,5) et carbonatés (32,8 % de valeur moyenne ; avec une plage de variation de 8,8 à 65,7 %).
 - Dans 66 % des parcelles, la conductivité électrique, dans l'extrait de pâte saturé, indique qu'il existe des sols sans problèmes de salinité (<2 dS/m) ; dans 31 % des parcelles, il peut y avoir des problèmes de salinité, puisque les sols sont légèrement (de 2 à 4 dS/m) ou modérément salins (de 4 à 8 dS/m) ; et dans 3 % des parcelles, les sols sont fortement salins >8 dS/m).
 - La teneur en matières organiques est élevée et même très élevée dans certaines parcelles (4,2 % de valeur moyenne, avec une plage de 1,8 à 10,2 %). La capacité d'échange cationique des sols va de très faible à élevée (18,3 cmolc (=)/kg de valeur moyenne ; avec une plage de variation de 3,4 à 39,6 cmolc (+)/kg) et la texture est essentiellement franche, franche-argileuse ou franche-limoneuse.
 - Les concentrations moyennes « pseudo-totales » de métaux (mg/kg) dans la zone étudiée, sont : 0,328 pour le Cd, 55,8 pour le Pb et 78,5 pour le Zn. Ces résultats reflètent principalement des niveaux normaux pour les sols agricoles, sur la base de la comparaison avec d'autres études décrites dans la documentation. Par conséquent, les pratiques agricoles dans la zone ne semblent généralement pas produire un niveau excessif de métaux.
 - Les résultats d'analyses multivariées indiquent l'existence de deux groupes de métaux lourds qui diffèrent dans leur origine. Ainsi, le premier groupe est formé par le Fe, Ni, Co et Mn, dont l'origine dans les parcelles analysées est principalement due à l'altération du matériau d'origine. Par conséquent, ce groupe a été appelé facteur lithogène. Le second groupe est composé du Cd, Pb, Cu, Cr et Zn, qui sont regroupés par le fait d'avoir généralement une origine anthropique dans les parcelles ; ce groupe étant appelé facteur anthropique.
 - La teneur en fractions extractibles d'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) en ce qui concerne leur teneur « pseudo-totale », est inférieure à 10 % pour le Co, Cr, Fe et Ni, 10 % pour le Mn et plus de 10 % pour le Cd (38 %), Pb (19 %), Zn (17 %) et Cu (15 %). Ces résultats indiquent que les métaux avec le plus gros potentiel de transfert (mobilité) dans les sols étudiés, sont le Cd, Cu, Pb et Zn, probablement du fait de leur origine anthropique dans la zone étudiée.
 - Outre la teneur « pseudo-totale », la concentration de la fraction extractible est également influencée par les caractéristiques et propriétés du sol. Ainsi, des corrélations et/ou lignes de régression indiquent que la fraction extractible d'EDTA du Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni et Pb, est liée positivement au CIC et/ou négativement aux carbonates. Cependant, la caractéristique édaphique qui influence le plus le Zn extractible, est l'argile. De plus pour certains métaux, les relations établies entre la fraction extractible avec EDTA et la teneur « pseudo-totale » d'autres métaux, sont importantes. Généralement, les fractions extractibles sont liées aux teneurs « pseudo-totales » de métaux avec une origine similaire. Donc, les fractions extractibles de métaux qui ont une origine lithogène sont liées aux teneurs « pseudo-totales » de métaux d'origine lithogène, tandis que les métaux d'origine anthropique sont liés entre eux.

- Dans les parcelles avec des laitues, bettes ou artichauts, des échantillons de culture ont été prélevés. Les concentrations de métaux dans les cultures sont regroupées en cultures à feuilles (laitue et bête) et cultures à inflorescence (artichauts). Ainsi, les teneurs moyennes en métaux, exprimées en mg/kg de poids sec, dans les cultures à feuilles sont de 1,47 pour le Cd, 0,57 pour le Co, 3,35 pour le Cr, 13,2 pour le Cu, 431 pour le Fe, 63 pour le Mn, 3,84 pour le Ni, 1,99 pour le Pb et 41,7 pour le Zn, tandis que dans les cultures à inflorescence, elles sont de 0,24 pour le Cd, impossibles à quantifier pour le Co, 0,68 pour le Cr, 8,7 pour le Cu, 65 pour le Fe, 21 pour le Mn, 1,32 pour le Ni, 0,28 pour le Pb et 44,3 pour le Zn. Par conséquent, les éléments avec la concentration la plus forte sont les micronutriments (Cu, Fe, Mn et Zn). Les résultats obtenus à partir des concentrations de métaux dans les cultures échantillonnées semblent indiquer que, en général, celles-ci ne devraient pas avoir de problèmes à se développer correctement. Cependant, certaines cultures présentent des valeurs trop élevées de certains métaux, particulièrement, un échantillon pour le Cd, un autre pour le Pb et 3 pour le Ni et d'autres valeurs déficientes présentes de Mn ou Zn. De plus, sur les parcelles qui ne pouvaient pas être analysées pour les cultures, les valeurs de fractions extractibles de micronutriments (Cu, Mn et Zn) reflètent le fait que les cultures possibles qui se développent sur ces parcelles ne devraient pas manquer de ces éléments, comme indiqué ci-dessus.
 - Les différences possibles entre espèces dans l'absorption et/ou accumulation de métaux dans les cultures, ont été analysées en comparant les teneurs en métaux entre les deux types de cultures analysés. Les résultats montrent que les teneurs de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Pb sont supérieures dans les cultures à feuilles. Les différentes concentrations observées entre les deux types de cultures doivent être principalement dues à des différences physiologiques, ce qui entraîne fondamentalement le fait que les cultures à feuilles soient des accumulateurs de métaux, puisqu'il n'y a pas de différences significatives entre la teneur en métaux dans les sols des deux types de cultures, ou lorsqu'il y a des concentrations supérieures dans les cultures sur sol avec une concentration inférieure. De plus, pour les métaux tels que le Cd et le Pb, une plus grande quantité de dépôt atmosphérique peut pénétrer à travers les feuilles. Par ailleurs, la valeur moyenne de Zn est légèrement supérieure dans les cultures à inflorescence par rapport aux cultures à feuilles, bien que la différence ne soit pas statistiquement significative, malgré le fait qu'il existe des concentrations bien plus fortes dans les sols avec des cultures à inflorescence. Ceci reflète les différences physiologiques entre les deux types de cultures, avec les cultures à feuilles en tant qu'accumulateurs.
 - Les relations établies entre la teneur « pseudo-totale » en métaux lourds dans le sol et dans les cultures, sont négatives dans toutes les cultures pour le Cd et le Ni, dans les cultures à feuilles pour le Cd, Co et Mn, et dans les artichauts pour le Cd. D'un côté, ces relations négatives semblent refléter la plus grande importance dans l'introduction de métaux, tels que le Cd, dans les cultures par dépôt atmosphérique par rapport au transfert à partir du sol. D'un autre côté, la non-existence de relations entre la fraction extractible de métaux et la teneur de cultures, indique peut-être que la méthode d'extraction d'EDTA n'est pas celle qui convient le mieux pour évaluer la disponibilité de métaux dans ces sols pour ces cultures.
 - Parmi les différents éléments, il existe des corrélations, positives ou négatives, qui indiquent que l'absorption d'un métal par la plante augmente ou diminue en présence d'autres métaux dans le sol. Par exemple, dans l'ensemble des cultures, plus la concentration de Zn dans les sols est forte, plus la teneur en Cd est faible. Par conséquent, pour étudier l'accumulation possible d'éléments toxiques dans les cultures, le fait de connaître les interactions qui peuvent apparaître entre les éléments est aussi important que de connaître la concentration de métaux dans le sol et dans la culture.
29. Tang, J. et al (2020), enquêtant sur les effets du biocharbon, compost et leur combinaison sur la disponibilité de métaux lourds, caractéristiques physicochimiques et activités enzymatiques dans le sol, ont démontré que l'ajout d'amendements à un sol pollué altérerait considérablement les propriétés du sol et comparé à l'ajout séparé de biocharbon ou compost, leur application combinée était plus efficace pour améliorer le pH du sol, les matières organiques, le carbone organique et le potassium disponible. De plus, tous les amendements diminuaient de manière significative la biodisponibilité du Cd et du Zn, mais activaient légèrement l'As et le Cu et les activités enzymatiques du sol étaient activées par le compost et inhibées par le biocharbon, mais présentaient des réponses fortement variables à leurs combinaisons. L'analyse de corrélation de Pearson a indiqué que la conductivité électrique et le potassium disponible étaient les facteurs environnementaux les plus importants affectant la disponibilité des métaux et les activités enzymatiques du sol, y compris la déshydrogénase, catalase, β -glucosidase, uréase, phosphatase acide et alcaline, arylsulfatase, excepté pour la protéase et l'invertase.
- La disponibilité de l'As, Cu, Cd et Zn affectait les activités de déshydrogénase, catalase et uréase. Ces résultats indiquaient que le biocharbon, le compost et leur combinaison ont des effets significatifs sur les caractéristiques physicochimiques, la disponibilité des métaux et les activités enzymatiques dans un sol pollué par des métaux lourds.

30. Concernant l'activité microbiologique, l'effet des microorganismes sur la baisse de la concentration du cadmium dans le cacao est bien documentée : Bravo et al (2018), et Revoredo, A. et Hurtado, J. (2018), qui ont montré que les inoculums microbiens sont efficaces dans les cultures de cacao. Revoredo and Hurtado déterminant l'activité de bioremédiation de 3 souches *Streptomyces* : *Streptomyces variabilis* (AB5 et X) et *Streptomyces* sp. (C2) en utilisant deux concentrations différentes de Cd : 100 et 200 ppm, ont conclu que la souche C2 a une activité de bioremédiation car elle réduit l'absorption de Cd dans les plantes de cacao, d'une moyenne de 39,67 % dans le traitement avec 100 ppm de Cd et une moyenne de 21,13 % dans le traitement avec 200 ppm de Cd.
31. Il convient d'éviter la fertilisation avec des engrais phosphatés et des roches sédimentaires contenant du phosphore, car ils contiennent généralement du cadmium en impureté, dont la présence est plus faible dans les roches phosphorées d'origine magmatique. Smolders (2017) explique que le succès de la production de cacao dépend de l'ajout d'engrais phosphatés parce que la concentration en phosphore des sols tropicaux est naturellement très limitée. Les directives ne devraient pas reposer sur le type d'engrais phosphaté mais sur la concentration absolue de Cd. Dans ces plantations, les plantes présentent une très faible teneur en P disponible si l'on s'en fie aux études publiées sur la fertilité des sols, les engrais au P peuvent dès lors être utiles pour améliorer la croissance et, par conséquent, la dilution du Cd dans les plantes. En Europe, aux États-Unis et dans de nombreuses autres nations, des limites sont imposées sur le Cd dans les engrais au P, dont les phosphates naturels qui peuvent être vendus dans le commerce. Smolders (2017) résume les meilleurs conseils actuels sur les limites appropriées pour le Cd dans les engrais au P. Un problème majeur des nations d'Amérique latine et des Caraïbes qui produisent du cacao est l'absence de contrôle de présence de Cd dans les engrais, et l'absence de réglementation stricte sur le Cd dans les engrais. De telles réglementations doivent être développées et appliquées aux engrais utilisés dans les plantations de cacao.
32. Utiliser des engrais azotés et au potassium parce que leur concentration en cadmium est normalement très basse et de préférence des engrais composés tels que 20-20-20 (N-P205 et K20), en vérifiant l'analyse des métaux lourds qu'ils contiennent. Il a été démontré que, dans les sols bien alimentés, le risque de bioaccumulation du cadmium est plus faible. Il convient de souligner que les engrais azotés et au potassium ne devraient pas être utilisés dans les plantations de cacao biologique.
33. La préparation et l'utilisation de charbon activé avec différents types de matières, de préférence locales (biomasse résiduelle ou chaume), peut servir à faire baisser la disponibilité du Cd dans le sol par un mécanisme d'adsorption. Le charbon activé ou le biocharbon sont toutefois des amendements des sols coûteux et peu susceptibles d'être rentables pour les producteurs de cacao, surtout les plus petits. Il convient de souligner que le charbon activé ne devrait pas être utilisé dans les plantations de cacao biologique.
34. L'Institut interaméricain de coopération pour l'agriculture (2017b) souligne qu'il existe des éléments qui indiquent que la taille adéquate et permanente des arbres réduit sensiblement la présence de Cd dans la pelure. La taille de surface du cacaoyer a un impact significatif sur l'architecture racinaire et il s'agit d'un élément important dans le blocage de l'absorption de Cd à partir du sol ; particulièrement dans les sols volcaniques.
35. L'application de vinasse (sous-produit de l'industrie du sucre de canne), engrais liquide riche et source de potassium, peut également renforcer l'installation de champignons qui forment des mycorhizes dans les racines du cacaoyer, augmente l'efficacité de la nutrition en phosphore de ces cultures, augmente leur résistance à la sécheresse, les protège contre les maladies et immobilise le cadmium.
36. Il convient d'utiliser de préférence des mycorhizes naturelles dans la région et autres bioremédiateurs qui « capturent » le Cd présent dans le sol, le rendant ainsi indisponible pour une absorption par les fèves de cacao.
- 3.2. Phytoextraction des métaux lourds (Cd)
37. Cette technique implique de planter des arbres, des buissons, des herbacées et autres cultures de couverture dans les sols contaminés par des métaux lourds afin de les extraire par le système racinaire et de les transférer à la masse des feuilles, qui sont alors ramassées et incinérées (à 450°C) pour en faire des cendres dont il est ensuite décidé si elles doivent être confinées ou analysées et transformées en laboratoire afin de réutiliser ces métaux. Il convient de mentionner que l'application de cette technique requiert de disposer d'un système de biosécurité destiné à empêcher l'utilisation du feuillage à des fins alimentaires pour l'homme ou les animaux. Chaney, R.L et Baklanov, 2017 rapportent que malheureusement, les espèces de plantes ayant démontré une très forte accumulation de Cd ne sont pas adaptées aux environnements tropicaux, et que planter d'autres cultures sous les cacaoyers et ramasser chaque année leur biomasse aérienne pour en récupérer le Cd, serait très difficile dans les plantations de cacao.

38. Jebara, S.H., et al 2019 ont indiqué que les légumineuses co-inoculés avec des bactéries favorisant la croissance des plantes résistant au cadmium, contribuent à un type de phytoremédiation pour atténuer la contamination de Cd dans le sol. De plus, les symbioses légumineuses-bactéries favorisant la croissance des plantes sont signalées comme influençant la biodisponibilité du Cd dans les légumineuses par divers mécanismes, tels que bioaccumulation, précipitation, complexation et chélation. La toxicité du Cd a induit un large éventail de mécanismes de tolérance physiologique et biochimique dans les légumineuses, tels que l'expression génétique de protéines fixatrices de métal impliqué dans la chélation, et le transport de Cd, tel que la phytochélatine synthase (PCS) et la métallothionéine (MTs), ainsi que l'activation du système de défense antioxydant.

3.3. Gestion agronomique de la culture du cacao et bioaccumulation du Cd

39. Dans la gestion agronomique efficace de la culture, les facteurs suivants sont importants : la taille, le nombre de plantes par hectare, les systèmes d'ombrage, le régime d'humidité dans le sol, l'application d'engrais et d'amendements, les doses et les moments choisis pour exécuter ces tâches afin de respecter le métabolisme du cacao et de réduire la probabilité que le cadmium pénètre les racines parce que ce métal présente normalement une bioaccumulation en de plus grandes quantités en cas de faible fertilité, de sols sablonneux, de faible teneur en matières organiques, de faibles concentrations de zinc et manganèse, de forte acidité ($\text{pH} < 5,5$) et de mauvaise gestion.
40. Lorsque la physiologie du cacao est adéquate, la production et le fonctionnement des enzymes favorisent leurs processus métaboliques normaux et réduisent la bioaccumulation du cadmium dans les fèves de cacao grâce aux mécanismes d'auto-défense des plantes contre les contaminants qui s'activent lorsque les plantes sont en bonne santé et bien nourries. Observation des États-Unis : Les plantes qui poussent normalement ne présentent pas d'activité physiologique spéciale qui réduit l'accumulation du Cd. Les retards de croissance, surtout s'ils sont dus à une acidité excessive du sol, entraînent une plus grande accumulation du Cd. Le Tableau 5 présente ci-dessous une liste des conditions qui génèrent la bioaccumulation du Cd dans les fèves de cacao et leurs mesures de réduction proposées :

Tableau 5 : Conditions du sol et de l'eau qui favorisent la bioaccumulation du Cd dans les fèves de cacao.

Conditions du sol et de l'eau qui génèrent la bioaccumulation du Cd dans les fèves de cacao Les États-Unis indiquent qu'il est très peu probable que des eaux d'irrigation salines soient un problème dans le domaine de la production du cacao et du Cd. Il est approprié de formuler un avertissement en cas de niveau de chlorure élevé dans l'eau d'irrigation, les engrais et autres amendements des sols. C'est spécifiquement le chlorure présent dans le sol, et non sa salinité, qui augmente l'accumulation du Cd dans toutes les espèces de plantes. (McLaughlin, 2016). Les conseils sur le pH du sol devraient par ailleurs être plus spécifiques. Des études sur les propriétés des sols des plantations de cacao de plusieurs nations ont révélé un pH du sol de 4,5 favorisant fortement l'accumulation du Cd. Les sols de la zone racinaire devraient être chaulés pour atteindre un pH de 6,5 si la teneur du cacao en Cd doit être réduite. Si le sol présente naturellement une forte teneur en Cd, il devrait être rendu calcaire afin de minimiser l'accumulation du Cd, ou d'autres cultures devraient être plantées.	Mesures de réduction proposées
Sols naturellement peu fertiles	Fertiliser le sol avec un engrais à
Faible concentration de matières organiques dans le sol	Augmenter la teneur en matières
Faible concentration de Zn et Mn	Incorporation de Zn
Sols sablonneux	Éviter de cultiver sur des sols sablonneux, utiliser de préférence des sols limoneux à argileux

Eaux salines (2 mS/cm) avec une forte teneur en chlorure. Dans l'unité mentionnée, S signifie Siemens	Traiter l'eau pour en réduire la salinité et la teneur en chlorure
Sols fortement acides	Chauler le sol jusqu'à atteindre un pH de modérément acide à neutre

41. Zones de plantations : Par mesure de prévention, la plantation de cacaoyers devrait se faire dans des zones où la teneur en Cd est réduite, de sorte que les sols agricoles ne contiennent pas plus de 1,4 mg/kg de Cd (CCME, Canada, 1999 ; DS 011-2017, MINAM, Pérou).
 42. Gramlich, A., et al. (2017) faisant référence à l'absorption de Cd par les cacaoyers dans les systèmes d'agroforesterie et de monoculture sous gestion conventionnelle et biologique, ont déterminé que les systèmes de production et cultivars seuls n'avaient pas d'influence significative sur le Cd au niveau des feuilles. Cependant, ils ont constaté des teneurs inférieures en Cd au niveau des feuilles dans les systèmes d'agroforesterie par rapport à la monoculture, lorsqu'elles étaient analysés en combinaison avec le Cd de sol disponible par DGT, le cultivar de cacao et la matière organique du sol. Globalement, ce modèle expliquait 60 % de la variance des concentrations de Cd au niveau des feuilles. De plus, ils expliquent les concentrations plus faibles de Cd au niveau des feuilles dans les systèmes d'agroforesterie, par l'absorption de Cd par d'autres plantes, et également que l'effet cultivar peut s'expliquer par les capacités d'absorption spécifique du cultivar ou par un effet de croissance se traduisant par différents taux d'absorption, car les cultivars étaient de tailles différentes.
 43. Gramlich, A., et al. (2018) dans leur document sur l'absorption de Cd du sol par le cacao au Honduras, ont souligné d'une part que : a) Le Cd des fèves dépassait les normes européennes dans certaines zones, bien que les sols n'étaient pas contaminés., b) Le Cd de sol disponible par DGT (Cd_{DGT}) prédisait le mieux le Cd au niveau de la fève et de la feuille. Par ailleurs, les concentrations de Cd dans les fèves de cacao étaient les plus fortes sur les substrats alluviaux. D'autre part, comme ils n'ont constaté aucune influence de l'application d'engrais ni de la proximité de sites industriels, ils ont conclu que les différences de Cd du sol entre les sites étaient dues à une variation naturelle et que de tous les facteurs inclus, le $DGT-Cd$ de sol disponible constituait le meilleur prédicteur de Cd au niveau de la fève Cd ($R^2 = 0,5$) et lorsque le DGT n'était pas prise en compte, le Cd au niveau de la fève était le mieux prédit par le Cd de sol « total », le pH et la géologie.
- 4. MESURES DE PRODUCTION À APPLIQUER DANS LES CHAMPS POUR PRÉVENIR ET RÉDUIRE LA CONTAMINATION DES FÈVES DE CACAO PAR LE CADMIUM**
44. Il est également important de connaître les sources de cadmium et la répartition du cadmium dans le sol. Plusieurs études sur le Cd dans le sol de plantations d'Amérique Latine ont identifié un enrichissement substantiel en Cd de certains sols utilisés pour la production de cacao. Les concentrations de Cd quelque peu supérieures des couches supérieures par rapport aux couches inférieures du sol pourraient découler de processus naturels de formation du sol et de l'application d'engrais (notamment de produits phosphatés), ou de l'émission d'aérosols provenant de sources industrielles. L'enrichissement naturel du sol en métaux peut découler de la minéralisation (en Zn et Cd) à proximité de mines de Zn, de Cu et de Pb (ratio Cd:Zn généralement compris entre 0,005 et 0,01 μg Cd/ μg Zn). Le schiste marin peut produire du Cd avec un fort ratio Cd:Zn présentant une plus grande disponibilité pour les plantes que la contamination due au minerai de Zn. Plusieurs régions d'Amérique Latine présentent en outre des contaminations importantes, voire localement extrêmes, par le Cd dues à ces sources de schiste marin (Garrett et al., 2008) ; certains sols jamaïcains contiennent plus de Cd que de Zn, ce qui est extrêmement rare. Lorsque le Cd est supérieur aux niveaux de fond (entre 0,2 et 0,5 mg Cd/kg de sol sec), d'autres éléments (Zn) contribuent à en clarifier la source. Les sols développés à partir de dépôts phosphatés sont riches en P, Cd et Zn, avec un ratio Cd:Zn généralement égal à 0,1. Les concentrations de Zn et de P des sols suspectés d'être riches en Cd devraient dès lors être mesurées pour en clarifier la source. (Garrett, R.G., A.R.D. Porter, P.A. Hunt et G.C. Lalor. 2008). Rodriguez, et al (2019), utilisant les données d'une étude existante effectuée dans une zone de production de cacao au centre de la Colombie, ont sélectionné plusieurs fermes avec une forte concentration de Cd ; et dans ces fermes, ils ont étudié la variabilité spatiale du Cd dans le sol et les tissus des plantes, ainsi que d'autres propriétés chimiques du sol. Voici certains des résultats : À des profondeurs de sol accrues, il existait une réduction du Cd total ainsi que dans les niveaux disponibles de l'élément, la modélisation de régression spatiale explique le Cd dans les fèves de cacao relatif aux propriétés chimiques édaphiques, au lieu et à la profondeur du sol.
 45. L'analyse des sols devrait être obligatoire pour les producteurs de cacao, actuels et nouveaux, afin d'identifier les sols et les eaux moins chargés en cadmium. Les zones présentant des concentrations

plus élevées devraient être destinées à d'autres types de cultures marchandes telles que le café ou les plantes qui absorbent moins le cadmium. L'association des exportateurs du Pérou, l'ADEX, déclare que le café et le cacao sont produits à des niveaux écologiques différents, et qu'il ne peut donc pas être suggéré de remplacer les plantations de cacao par des plantations de café. Le café de qualité pousse à plus de 1000 mètres d'altitude - <http://www.minagri.gob.pe/portal/especial-iv-cenagro/24-sector-agrario/cafe/204-cafes-especiales-en-el-peru> et le cacao entre 300 et 900 mètres au-dessus du niveau de la mer - <https://www.sierraexportadora.gob.pe/programas/cacao/que-significa.php>. L'OSAV (Suisse) déclare que les sols devraient également faire l'objet d'échantillonnages, attendu que les concentrations de Cd ne sont pas homogènes. En outre, des facteurs tels que le pH ou les matières organiques contenues dans le sol devraient également être pris en compte. Davila, C. b (2018), pour la caractérisation des sols considérés dans ses analyses : pH, conductivité électrique, carbonate de calcium, matières organiques, phosphore, potassium, analyse mécanique (sable, limon, argile), classe de texture, échange de cations, cations échangeables (Ca, Mg, K, Na, Al + H), somme des cations, somme des bases et saturation des bases).

46. Pour l'analyse du Cd, plusieurs méthodes non incluses dans le CODEX STAN 228/2001 peuvent être utilisées, mais la méthode sélectionnée doit répondre aux critères de performance requis pour les limites maximales supérieures à 0,1 mg/kg établies dans le Manuel de procédure de la Commission du Codex Alimentarius, qui sont les mêmes que celles établies dans les règlements de l'Union européenne (EFSA, 2009) pour la limite de détection (LOD), la limite de quantification (LOQ) et la précision. La récupération devrait se situer dans la fourchette de 80 à 110 %.

47. Méthodes d'analyse pour déterminer le Cd dans les fèves de cacao :

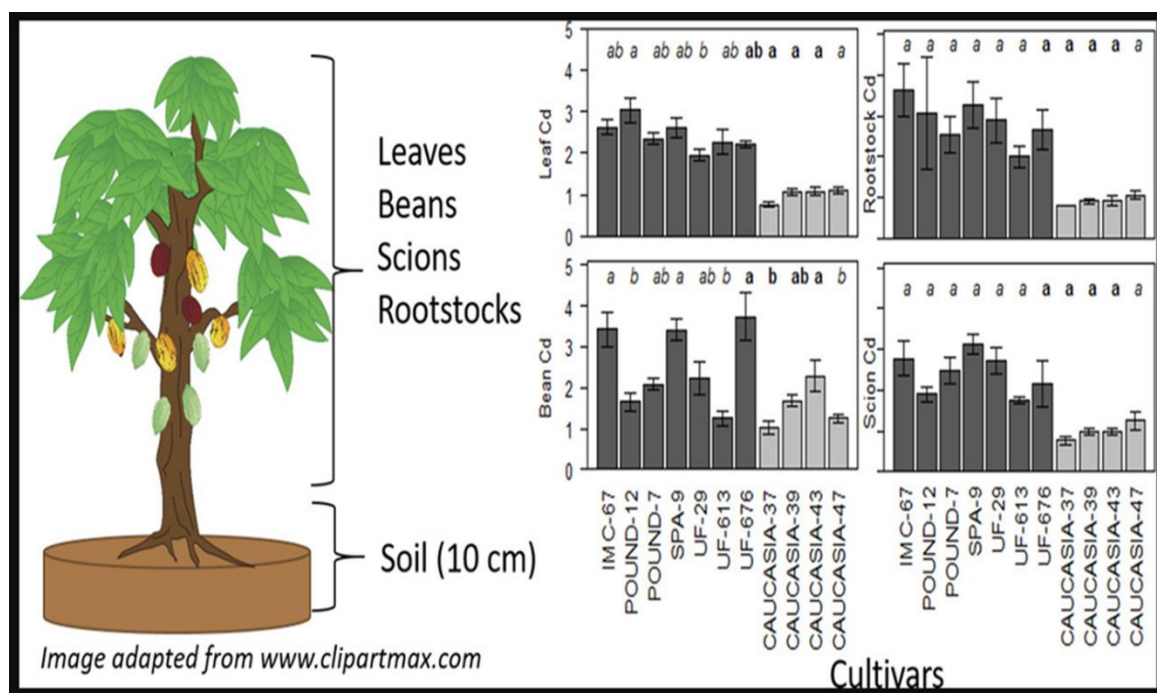
Technique	Limite de détection (µg/L)
Spectrométrie d'absorption atomique à la flamme F-AAS	0,8 – 1,5
Spectrométrie d'émission optique avec plasma à couplage inductif (ICP-ES) ICP-OES	0,1 – 1,0
Spectrométrie d'absorption atomique avec four de graphite - GF-AAS	0,002 – 0,02
Spectrométrie de masse avec couplage à plasma inductif (ICPMS). ICP-MS	0,00001 – 0,001

EFSA, 2009

48. Utiliser les résultats des tests du sol pour déterminer s'il faut appliquer des engrais ou des amendements des sols pour assurer l'adéquation du pH du sol et de la nutrition des plants afin d'éviter le stress des plantes, surtout pendant le stade de développement des graines, à moins que le producteur puisse prouver que son plan d'action proposé réduit les risques à des niveaux acceptables. On peut dire que le cacao est une plante qui s'épanouit sur de nombreux types de sols différents. Van Vliet et Giller, 2017, ayant examiné la nutrition minérale du cacao, ont établi que la limitation des nutriments faisait partie des contraintes de production du cacao. Dans leur étude, ils compilent les connaissances actuelles sur les cycles des nutriments dans les systèmes de production du cacao, les exigences du cacao en nutriments, et le rendement lié à l'application d'engrais vis-à-vis de facteurs tels que les conditions de gestion, climatiques, et du sol.
49. Les sols qui présentent une capacité d'échange cationique supérieure (59,0-60,6 mEq/100g) présenteraient également une capacité supérieure à fixer les métaux (Cargua, J. et al., 2010). Les États-Unis observent qu'une « CEC de 59,0 à 60,6 mEq/100 g » semble incorrecte. En général, la CEC des sols des plantations de cacao est < 15 dans la littérature publiée. Les sols sablonneux présentent une faible CEC, qui peut parfois être inférieure à 5. Ce n'est pas non plus la CEC en tant que telle qui réduit la phytodisponibilité du Cd, c'est la surface des oxydes de Fe et de Mn et la capacité de chélation des matières organiques qui adsorbent le Cd et en réduisent la phytodisponibilité. Les argiles des sols dont la CEC est supérieure sont généralement revêtues d'oxydes hydratés de Fe et de Mn, de sorte que les argiles sont corrélées avec l'adsorption du Cd.
50. Cargua et al, 2010, cite Miliarium (2009), qui observait également que l'argile tend à adsorber les métaux lourds qui sont retenus dans leurs positions d'échange et que, au contraire, les sols sablonneux n'ont pas la capacité de fixer les métaux lourds qui passent rapidement dans les couches inférieures du sol et peuvent contaminer les nappes phréatiques.
51. Avant les récoltes, s'assurer que tout le matériel qui sera utilisé pour récolter, sécher, nettoyer et stocker les cultures est en bon état de fonctionnement et que les déchets, fèves de cacao et poussières sont nettoyés le mieux possible. Une panne de matériel pendant sa période d'utilisation critique peut entraîner une perte de qualité au niveau des fèves de cacao et accroître le risque d'apparition de

cadmium. Vérifier que le matériel nécessaire pour mesurer la teneur en eau est disponible et étalonné.

52. Récolte : éviter de récolter les fruits immatures du cacao, en raison de leur pulpe solide sans mucilage, de la difficulté à séparer les fèves de cacao de la cabosse et d'une fermentation inappropriée. Par ailleurs, l'Institut interaméricain de coopération pour l'agriculture, IICA (2017b) rapporte que la réduction de la contamination des fèves de cacao par le Cd dépend considérablement de la gestion de la récolte ; il apparaît très clairement que les concentrations de cadmium les plus fortes se situent dans la cabosse, raison pour laquelle il est recommandé de séparer tôt les fèves des cabosses.
53. Fertilisation : L'utilisation d'engrais phosphatés sur le long terme augmente la concentration en Cd des couches arables du sol (IPCS 2010), bien que la FDA (États-Unis) observe qu'il est important de maintenir une fertilité adéquate du P afin que la croissance des arbres ne soit pas retardée par une faible concentration en P et que les arbres n'accumulent pas une forte concentration en Cd, mieux vaut conseiller l'emploi d'engrais au P limités en Cd. Il est nécessaire de s'assurer de l'existence d'une réglementation régissant l'échantillonnage, le suivi et l'application des limites des engrais au P. Ces limites peuvent également être nécessaires pour les engrais au Zn parce que certains dérivés d'engrais au Zn contiennent beaucoup plus de Cd que n'importe quel engrais au P.
54. Rentabilité des mesures de réduction du Cd : Le traitement des sols contaminés par des métaux par immobilisation via des amendements chimiques tels que la dolomite ou le calcaire peut représenter une alternative viable et moins onéreuse pour réduire la disponibilité des métaux (Trakal et al., 2011). Par ailleurs, la communication personnelles des chercheurs internationaux participant au Forum (MINAGRI-IICA 2018) souligne que l'utilisation desdits amendements chimiques augmente la production des cultures de cacao. La production est accrue parce que la limitation des nutriments est réduite.
55. Le Guide for Phytosanitary Management and Safety (guide de la gestion phytosanitaire et de la sécurité) pour les plantations de cacao (MINAGRI-SENASA-IICA, 2017) mentionne que la gestion des cultures de cacao avec un système d'agroforesterie réduit la concentration de cadmium. Par ailleurs, elle fournit des services environnementaux différenciés à la société, constitue une alternative environnementale et contribue à l'atténuation du cadmium. Voir « Use of timber and non-timber forest resources of the cocoa agroforestry system » (*Theobroma cacao* L.) https://www.academia.edu/28727375/USODERECURSOS_FORESTALES_MADERABLES_Y_NO_MADERABLES_DEL_SISTEMA_AGROFORESTAL_CACAO_Theobroma_cacao_L._USE_OF_TIMBER_AND_NON-TIMBER_FOREST_RESOURCES_IN_THE_CACAO_Theobroma_cacao_L._AGROFORESTRY_SYSTEM
56. Dans leur recherche, Engbersen, N. et al (2019) ont utilisé l'essai de longue durée de cultivars de cacao CEDEC-JAS dans le nord du Honduras pour étudier les différences entre 11 cultivars dans l'absorption et la translocation du Cd. L'échantillonnage de porte-greffes, greffons, feuilles et fèves a été mené sur chaque site à partir de trois arbres réplique par cultivar et le sol autour d'eux. Les résultats indiquent que des concentrations de Cd de sol disponible étaient corrélées de manière plus proche avec des concentrations de Cd des porte-greffes ($R^2 = 0,56$), greffons ($R^2 = 0,59$) et feuilles ($R^2 = 0,46$) qu'avec des concentrations de Cd dans les fèves ($R^2 = 0,26$). De plus, les concentrations de Cd des porte-greffes, greffons et feuilles montraient des relations étroites avec les concentrations de Cd de sol disponible, sans différence significative entre les cultivars. Par contraste, les concentrations de Cd dans les fèves n'ont montré que de faibles corrélations par rapport au Cd de sol disponible et aux concentrations de Cd dans les parties végétatives des plantes, mais une variation importante parmi les cultivars. Trois cultivars, qui ont été analysés plus en détail, ont présenté des différences significatives dans les concentrations de Cd de fèves à maturité, mais pas de fèves immatures. Ces résultats suggèrent que les différences liées au cultivar dans les concentrations de Cd des fèves, résultent principalement de différences dans la charge de Cd durant la maturation de la fève, peut-être dues à des différences spécifiques aux cultivars dans le transfert du Cd du xylème vers le phloème. Les résultats montrent que la sélection de cultivars avec un faible transfert de Cd des parties végétatives vers les fèves, a un fort potentiel de maintien de l'accumulation de Cd dans les fèves de cacao à des niveaux qui sont sûrs pour la consommation. La figure ci-dessous montre l'accumulation et la répartition de Cd dans les différents cultivars de cacao.



57. Chavez, E., Z.L.He, P.J Stofella, R.S. Mylavarapu, Y.C.Li, B. Moyano et V.C. Baligar (2015) cités par McLaughlin Mike. 2016, montrent dans le tableau 5 la relation entre les paramètres de sol et la concentration de Cd dans les fèves de cacao pour la profondeur de 0 à 5 et de 5 à 15 cm dans le sud de l'Équateur.

Tableau 6

Table 5
Relationship between soil parameters and Cd concentration in cacao beans for the 0-5 and 5-15 cm depth.

Soil properties (0-5 cm)	R ²	Soil properties (5-15 cm)	R ²
M3, EC, pH, % clay, Total C, TR, CEC	0.77	M3, total C, % clay, pH, TR, EC, CEC	0.84
M3, EC, pH, % clay, total C, TR	0.77	M3, total C, % clay, pH, TR, EC	0.84
M3, EC, pH, % clay, total C	0.77	M3, total C, % clay, pH, TR	0.84
M3, EC, pH, % clay	0.76	M3, total C, % clay, pH	0.82
M3, EC, pH	0.76	M3, total C, % clay	0.79 ⁺
M3, EC	0.73 ⁺	M3, total C	0.72

Nomenclature: TR = total recoverable Cd, Total C = total carbon, CEE = effective cation exchange capacity, EC = electrical conductivity.

* P<0.05.

+ Best model.

58. L'Institut interaméricain de coopération pour l'agriculture, IICA (2017b) rapporte que les expériences conduites par l'Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP en Équateur, montrent que la contamination par le Cd est la plus évidente dans les 5 premiers centimètres du sol.
59. Après l'étude de l'accumulation de Cd dans six génotypes de cacao utilisés comme porte-greffes, Chupillon-Cubas J, Arévalo-Hernández, C; Arévalo-Gardini, E; Farfán-Pinedo, A; Baligar V. (2017) ont conclu que le clone IMC67 présentait la teneur en Cd la plus faible à la fois dans la partie aérienne et dans la racine, avec des différences significatives par rapport à la parcelle témoin, étant ainsi le clone qui convenait le mieux pour une utilisation par les agriculteurs.
5. **MESURES DE PRODUCTION À APPLIQUER APRÈS LA RÉCOLTE POUR PRÉVENIR ET RÉDUIRE LA CONTAMINATION PAR LE CADMIUM**
- L'Institut interaméricain de coopération pour l'agriculture (2017b) mentionne que des études récentes ont démontré que la plus grande quantité de Cd se trouve dans le mucilage, et donc que les mesures doivent être effectuées dans la période d'après récolte. Il est estimé que le mucilage contient plus 4,5 fois plus de Cd que le testa et 5,7 fois plus que la fève.
60. L'égouttage du mucilage pendant 12 heures pendant la fermentation réduit de manière significative la

concentration de cadmium dans les fèves de cacao CCN-51. Davila, C. 2018.

61. Séchage : S'assurer que les fèves ne peuvent pas être contaminées par la fumée et les gaz des séchoirs ou des véhicules. Les fèves de cacao pourraient être séchées en hauteur afin de ne pas être en contact direct avec le sol, le goudron ou le béton et de rester inaccessible pour les animaux. (CAOBISCO/ECA/FCC.2015).
62. Entreposage : S'assurer que les entrepôts ne sont pas contaminés par des déversements de carburant, des gaz d'échappement ou des fumées. (CAOBISCO/ECA/FCC.2015).
63. Le risque de contamination par le cadmium après la récolte et pendant le stockage des fèves de cacao peut être géré de manière plus prévisible grâce aux bonnes pratiques agricoles (BPA) et aux bonnes pratiques de fabrication (BPF) qui veillent à ce que le taux d'humidité des fèves de cacao stockées reste inférieur aux taux favorables au cadmium en fonction des conditions environnementales de la région. Le taux d'humidité des fèves de cacao stockées devrait être contrôlé régulièrement et maintenu en dessous de 8 %. (CAC/RCP 72-2013)
64. Comme c'est déjà le cas pour les achats volumineux de fèves de cacao, l'analyse des lots de fèves de cacao avant leur transformation devrait devenir une pratique standard pour mélanger les fèves de cacao contenant plus de cadmium avec celles qui en contiennent moins. Cette pratique est appliquée dans certains pays d'Amérique du Sud. L'ADEX ajoute que cette pratique est courante lors de la transformation des grains en produits dérivés du cacao, non seulement pour en réduire la teneur en cadmium, mais aussi, et essentiellement, pour obtenir les caractéristiques organoleptiques recherchées par le marché cible. Le représentant du Ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation du Pérou précise que, dans la mesure du possible, le mélange des grains devrait être évité étant donné qu'il s'agit d'une solution commerciale à court terme qui ne résout pas le problème, et que l'identité et l'origine caractéristiques sont perdues pour les pays qui produisent un cacao à l'arôme et au goût fins. Il indique également qu'il est nécessaire de mettre en œuvre la traçabilité de la concentration de cadmium.

6. **MESURES VALIDÉES APPLIQUÉES DANS LES PAYS PRODUCTEURS ET AUTRES OBTENUES AVEC L'AIDE DE PAYS INDUSTRIALISÉS**

65. COLOMBIE

Le Comité national du Codex Alimentarius de Colombie, en réponse à la lettre circulaire CL 2018/73-CF, a transmis les informations demandées avec les détails suivants :

Résumé de la mesure démontrée : Étude de la diversité microbienne associée aux sols des plantations de cacao en présence de cadmium (Cd) et évaluation de leur potentiel de bioremédiation.

Description de la mesure : Caractériser les populations associées aux sols des plantations de cacao où du Cd est présent et évaluer le potentiel de bioremédiation de certains microorganismes isolés, en laboratoire et dans le cadre de bio-essais en serre. Les techniques qui dépendent des méthodes culturales (isolation, caractérisation phénotypique et génotypique et analyse du potentiel de l'activité biologique) et des cultures (techniques de séquençage de dernière génération et analyse des gènes marqueurs (RNAr 6S) complémentaires les unes des autres et qui permettent, d'un côté, d'étudier la diversité structurelle de ces communautés microbiennes et, de l'autre, de réaliser une bioprospection des organismes isolés. Pour la caractérisation des microorganismes impliqués, des techniques culturales et moléculaires qui dépendent des méthodes de microbiologie serviront à élucider l'identité et les caractéristiques des épices impliquées dans le processus.

Lieu de l'étude :

Finca 1 : Latitude 06-55-24,3 Longitude 073-28-40,5 ; Finca 2 : Latitude : 06-53-10,2 Longitude 073-23-13,8 ; Finca 3 : Latitude : 06-54-14,3 Longitude 073-22-15,6 ; Exploitation 4 : Latitude : 06-54-49 Longitude 073-44,1-178.

Finca 1 (Finca est le nom espagnol pour exploitation de cacao) pH du sol acide / haute concentration de Cd dans le sol. Finca 2 pH du sol acide et faible concentration de Cd dans le sol. Finca 3 pH du sol neutre / basique et haute concentration de Cd sans le sol. Finca 4 pH du sol neutre/basique et faible teneur totale en Cd.

L'étude a commencé en 2015 et se terminera en 2019

Volume couvert par l'étude et surface de la parcelle : Nombre total d'arbres : 3 200, environ 3,5 ha.

Les variétés de cacao étudiées sont les suivantes : ISC95, ISC60-39, CCN51, nouvelles variétés (SYS).

Temps de plantation : Exploitation 1 : 15-20 ans, Exploitation 2 : 40-50 ans, Exploitation 3 : 5-10 ans, Exploitation 4 : 6-80 ans.

Date d'échantillonnage en ce qui concerne l'application de la mesure : Semestre I, 2017. 3 échantillons par plantation, environ tous les 2 mois.

Nombre d'échantillons prélevés : 12 échantillons au total (3 par plantation). Chaque échantillon composite a été formé de sous-échantillons (n = 18) en sélectionnant au hasard et en zigzag des cacaoyers ayant une bonne situation phytosanitaire, en nettoyant la surface de la terre (sous l'arbre) et en creusant un trou de la profondeur indiquée. Pour la collecte et la gestion finale des échantillons, le NTC 4113-6 (2) a été adopté. Chaque échantillon composite (2 Kg).

Concentrations de Cd de chaque échantillon : La concentration de cadmium dans le sol est variable, les échantillons se sont avérés contenir 44 mg/100 g et jusqu'à 0,01 mg/100 g. Il s'agit d'un préambule. La suite n'en a pas encore été développée. Les États-Unis ont fait remarqué que les concentrations données sont déroutantes. 44 mg/100 g correspond à 440 ppm, soit une très forte contamination ; alors que « jusqu'à 0,01 mg/100 g » est égal à 0,1 mg/kg, soit une concentration relativement faible de Cd dans le sol.

66. COLOMBIE

Gutiérrez E. y León C. 2017 :

Étude d'évaluation des amendements afin de résoudre les problèmes de concentrations de Cd dans le sol et les grains secs. Années 2010 à 2012 - Santander : Les détails suivants ont été précisés :

Les directives de Kelley ont été suivies pour la classification des sol contaminés par le Cd ; ces valeurs exprimées en mg/kg de sol sec varient entre :

Valeurs normales de sols non contaminés (mg/kg de terre)	Légère contamination (mg/kg de terre)	Contamination (mg/kg de terre)	Forte contamination (mg/kg de terre)	Contamination exceptionnellement élevée (mg/kg de terre)
0 – 1	3 – 5	5 - 10	10 - 20	> 20 Ces fourchettes suggérées de Cd dans différentes classes de contamination des sols sont déroutantes. Les sols présentant plus de 1,0 mg de Cd/kg sont déjà inhabituels. Les sols naturels sont généralement définis entre 0 et 0,7 par certains auteurs. Et, comme il a été souligné plus haut, lorsque des sols sont riches en Cd mais pas en Zn, le Cd de ce sol comporte des risques nettement supérieurs qu'en présence de ratios Cd:Zn habituels (Garrett et al, 2008 ; Chaney et al, 2009).

595 échantillons ont été prélevés dans 59 municipalités de onze (11) provinces.

Dans ces échantillons de sols, les analyses suivantes ont été réalisées : Chimique : Complète + éléments mineurs de 0 à 30 cm., Physique : Densité apparente et réelle, et texture avec la méthode Bouyoucos de 0 à 30 cm, cadmium total et cadmium disponible à 0-30 cm et cadmium total et cadmium disponible à 30-60 cm.

Dans l'échantillonnage des cabosses, ce qui suit a fait l'objet d'analyses : Fève de cacao sèche avec coque et fève de cacao sèche sans coque.

Laboratoire - Domaine : Chimie analytique, matériel utilisé : spectrophotomètres AA (240FS / 280FS) et spectrophotomètre (ICP-OES) ICAP 6500 - Thermo Scientific.

Résultats obtenus :

Référence définie par la concentration totale de Cd, présent dans les sols des plantations de cacao : Sur 207 échantillons analysés, des concentrations hautement variables de Cd ont été trouvées dans les différentes zones d'échantillonnage (entre 0 et 1 mg/kg jusqu'à > 10 mg/kg).

Les échantillons de fèves de cacao pour lesquelles il existe une limite maximale de Cd de 0,5 mg/kg : 175 (84,5 %) étaient en-dessous de cette limite légale et 32 (15,4 %) la dépassait. Pour ces dernières, une corrélation importante ($r = 0,652$ et $p > 0,001$) a été trouvée entre la concentration de cadmium de la fève et le cadmium disponible dans le sol.

L'évaluation de l'état nutritionnel des sols des plantations de cacao a révélé ce qui suit :

La valeur moyenne du pH du sol dans les municipalités où du cacao est produit, où 40 % des sols présentent des concentrations d'Al interchangeable, est de 5,6, ce qui est considéré comme modérément acide.

76 % des sols présentent une faible teneur en matières organiques.

49 % des sols des plantations de cacao présentent des déficiences en P, une réponse que l'on observe fréquemment dans plus de 70 % des sols du pays en raison de leur acidité.

En référence aux bases de K, Ca, Mg des sols et à leurs relations, on observe que 85 % des sols des plantations de cacao présentent une déficience en K, 16 % une faible concentration en Mg et 65 % un ratio Ca/Mg adéquat.

Les effets de trois traitements (compost et/ou biofertilisants ECOCACAO), biofertilisant organique (vermicompost et/ou lisier de volaille) + mycorhizes + chaux dolomitique, et une combinaison de chaux dolomitique, d'une source de phosphore, d'une source de potassium, d'un sol mycorhizien et d'un engrais biologique ont été évalués. L'étude a porté sur six plantations d'une parcelle expérimentale d'environ 1200 m² (144 cacaoyers).

Les niveaux de chaque application de fertilisation sont les suivants : pour la chaux dolomitique 1,5 à 2,5 kg/plante, K 300 à 350 g/plante, P 35 à 50 g/plante et les matières organiques 350 g/plante et les sols mycorhizés (20: 1).

L'analyse de la variance ne montre pas de différences statistiques pour les propriétés des sols dues à l'effet des traitements d'assainissement appliqués au sol et ne montre aucun changement des propriétés des sols.

Concernant la présence de cadmium total et de cadmium disponible dans les sols, dans les fèves de cacao et les tissus foliaires (les feuilles), l'analyse de la variance n'identifie pas de différences parmi les traitements dans les municipalités évaluées.

67. ÉQUATEUR

SEnescYT (2011). Projet : Assainissement de sols contaminés par la présence de cadmium dans les zones les plus polluées des provinces de Manabí, Santa Elena et El Oro.

Les détails de l'étude sont les suivants :

L'étude a été réalisée entre juillet 2012 et décembre 2014.

Les échantillons ont été prélevés dans la province d'El Oro, dans la localité de Pasaje à la plantation Rio Grande ; dans la province Peninsula de Santa Elena, dans la localité de Cerecita à la plantation La Mejor et dans la province de Manabí, dans la localité de Canuto à la plantation « expérimentale ». Les parcelles expérimentales contenaient 20 plants chacune, dont six plants centraux ont été identifiés pour surveiller l'évolution des concentrations de Cd dans le temps.

Huit amendements ont été évalués : MgCO₃, vinasse, zéolites, humus, charbon, CaSO₄, cachaza et ZnSO₄ ; appliqués en deux doses aux variétés de cacao CCN51 dans les provinces de Santa Elena et d'El Oro et la variété Nacional de cacao dans la province de Manabí.

L'application des amendements a été faite en fonction des caractéristiques des sols ;

Les résultats sont les suivants :

Dans la péninsule de Santa Elena Peninsula, à El Oro et Manabí, le sol a répondu à l'application de 1 MT/ha et de 2 MT/ha des huit amendements, car il a été possible de réduire les concentrations de Cd de manière significative aux quatre profondeurs évaluées (de 0 à 5 cm, de 6 à 10 cm, de 11 à 15 cm et de 16 à 20 cm) par rapport aux concentrations des parcelles témoins (traitement sans amendement).

Dans le sol de la péninsule de Santa Elena, l'application de la dose de 1 MT/ha d'humus et de sulfate de calcium a fait baisser la concentration de Cd de 1,76 mg/kg par rapport aux parcelles témoins à

1,10 mg/kg de Cd dans les 5 premiers cm du sol. Avec l'application de 2 MT/ha, elle a été réduite de 1,76 mg/kg dans les parcelles témoins à 1,02 mg/kg avec l'utilisation de charbon.

En général, il a été observé que tous les amendements appliqués au sol influençaient la baisse de la concentration de Cd dans les fèves de cacao. À la fin de l'étude, il a été déterminé que le sulfate de calcium et la cachaza réussissait à réduire les concentrations de Cd dans les fèves de cacao dans la péninsule de Santa Elena, respectivement de 46 et de 44 %.

À El Oro, lorsque 1 MT/ha de vinasse ont été appliquées, les concentrations de Cd dans le sol sont passées de 4,87 mg/kg à 2,38 mg/kg et lorsque 2 MT/ha ont été appliquées, la zéolite a réduit ces concentrations à 2, 29 mg/kg.

Dans le cas de El Oro, les amendements à la dolomite et à la vinasse ont respectivement réduit les concentrations de Cd dans les fèves de cacao de 48 et 45 %.

À Manabí, les parcelles témoins présentaient 1,35 mg/kg de Cd dans les 5 premiers cm du sol, avec une baisse régulière parallèlement à l'augmentation de la profondeur. 1 MT/ha de carbonate de Ca ont permis de réduire les concentrations à 0,57 mg/kg et, avec une forte dose de 200 kg/ha de sulfate de zinc, les concentrations ont été réduites à 0,59 mg/kg.

Enfin, à Manabí, tous les amendements à l'exception du carbonate de Mg ont eu des résultats similaires, avec une réduction de 30 % des concentrations de Cd dans les fèves de cacao.

68. BRÉSIL

Carrillo, M., et al. 2010.

Estudio: Efeito of different conditioners na mobilidade of cádmio em dois latossolos brasileiros.

Les détails de l'étude sont les suivants :

L'objectif de l'étude était d'évaluer le mouvement du Cd dans le profil du sol affecté par l'ajout de trois amendements organiques (vermicompost, tourteau de canne à sucre et de palmiste) et de trois minéraux (calcaire, apatite et zéolite) dans deux oxisols brésiliens (Tiro de Guerra et Tres Marías) aux textures respectivement argileuse et moyenne, afin de connaître la rétention du Cd dans les sols en utilisant la méthode de la lixiviation en colonnes.

Résultats :

La chaux et le tourteau de canne à sucre présentent un meilleur potentiel de réduction des flux de Cd dans le profil du sol.

Une autre option consiste à appliquer des zéolites dans les sols contenant beaucoup de sable et d'apatite ou de texture argileuse.

69. ASSOCIATION INTERNATIONALE DE LA CONFISERIE

Dans ses observations en réponse à la lettre circulaire CL 2018/73-CF sur les recherches sur l'atténuation, l'Association internationale de la confiserie basée à Bruxelles fait référence à une étude réalisée entre 2014 et 2017 au Cocoa Research Center de l'Université des West Indies avec le soutien du Joint Research Fund de CAOBISCO / ECA / FCC, qui permet de mieux comprendre les différents facteurs qui affectent la disponibilité du Cd et l'absorption du métal.

Trois solutions d'atténuation possibles ont été proposées :

Greffer des plantes avec des porte-greffes ayant une faible concentration en cadmium.

Obtenir de nouvelles variétés qui ne sont pas sujettes à l'absorption de Cd et modifier les sols afin de réduire l'absorption de Cd par les plantes.

Par ailleurs, la synthèse des mesures démontrée spécifie ce qui suit :

Les analyses des sols ont montré une corrélation positive entre les teneurs les plus élevées en Cd dans le sol et les tissus des plantes et fèves de cacao.

Il semble également y avoir une forte corrélation entre l'absorption du Cd par les cacaoyers et l'acidité du sol. Une forte acidité du sol correspond généralement à une plus forte accumulation du cadmium.

Il semble y avoir une corrélation entre l'emploi d'engrais phosphatés et l'absorption du cadmium par le cacaoyer.

Les fèves de cacao de différentes zones de culture d'un même pays et dans différents pays présentent des concentrations en cadmium très différentes.

Les propositions suivantes visent à remédier aux mesures susmentionnées :

L'analyse des sols devrait être obligatoire pour chaque nouveau producteur de cacao afin d'identifier les sols les moins chargés en cadmium. Les zones présentant des concentrations élevées de cadmium devraient être destinées à d'autres types de cultures commerciales telles que le café ou les plantes absorbant moins le cadmium ; ou elles devraient être utilisées pour la culture du cacao un fois que les niveaux de Cd dans le sol ont diminué jusqu'à un niveau acceptable. L'emploi d'engrais phosphatés devrait être minimisé.

70. FOODDRINK EUROPE

FOODDRINK EUROPE, basée à Bruxelles.

Dans sa synthèse des mesures démontrées, l'organisme a spécifié comme suit :

La contamination des fèves de cacao par le Cd dépend dans une large mesure de la concentration de Cd dans le sol et de sa biodisponibilité.

La biodisponibilité du cadmium dépend de ce qui suit :

- pH du sol
- Teneur en matières organiques.
- Déficience en nutriments spécifiques.
- Ions Cl^- dans le sol.

Les travaux du Cocoa Research Center (CRC), avec le soutien du Joint Research Fund de CAOBISCO / ECA / FCC, portent sur la gestion de tous les paramètres mentionnés, à l'exception des ions Cl^- dans le sol.

La méthode la plus efficace développée jusqu'ici est le chaulage des sols dont le pH est inférieur à 5,5.

Il a été démontré qu'augmenter le pH de 1 unité réduit de 1/10 la teneur en Cd de la fève.

Il a également été démontré que l'application de biocharbon réduit la biodisponibilité du Cd dans les fèves de cacao. Le taux de réduction est comparable à celui du chaulage et a une influence supplémentaire à celle du chaulage.

La contamination des fèves de cacao par le Cd dépend également de la variété de cacao. Dans l'étude du CRC susmentionnée, 10 génotypes présentant une faible bioaccumulation du Cd et susceptibles d'en diviser par 7 la concentration dans les grains ont été identifiées.

Outre les mesures précédentes visant à réduire la contamination des fèves de cacao par le Cd, en raison de la contamination géologique naturelle du cacao, la contamination des sols peut être due :

- À des sources d'engrais contaminés.
- À une eau d'irrigation contaminée.
- À des eaux d'inondation contaminées.

Toute autre contamination devrait être évitée en sélectionnant soigneusement les engrais, l'eau d'irrigation et en prévenant les inondations. Les mesures suivantes sont également décrites :

Gestion du pH du sol par chaulage.

Il convient en premier lieu de consigner les paramètres du sol suivants : Cd total, biodisponibilité du Cd, pH du sol, composition physique du sol, teneur en matières organiques et capacité d'échange cationique avec l'assistance de laboratoires certifiés. Sur la base de cette exigence, le chaulage peut être calculé et, selon son efficacité, les taux de chaulage peuvent être ajustés.

Dans la deuxième phase du projet, des essais sont réalisés sur le terrain afin de mieux déterminer l'efficacité du chaulage et du biocharbon, y compris la fréquence et les méthodologies d'application. D'autres paramètres font l'objet de recherches, portant par exemple sur la disponibilité et la productivité des nutriments.

Les génotypes ayant une faible bioaccumulation du Cd identifiés par notre étude (Lewis et al., 2018) peuvent être utilisés en tant que porte-greffes dans la production de matériels de multiplication pour réduire l'absorption du Cd.

D'autres études sont réalisées dans le cadre d'expériences hydroponiques destinées à comprendre si les différences observées par Lewis et al (2008) sont dues aux différences au niveau de la génétique ou de la morphologie des racines. Des bioaccumulateurs présentant une faible concentration de Cd sont testés en tant que porte-greffes en raison de leur efficacité.

71. PÉROU

Garcia, J. et Garcia L. 2018. Sélection génétique avec accumulation réduite du cadmium.

Afin d'étudier la cinétique de l'accumulation des métaux lourds, du Cd et du Pb dans différents clones de cacao et d'identifier ceux dont les organes reproducteurs présentaient une accumulation réduite, cet essai de juin à novembre 2017 a été réalisé à la station Tulumayo, à Tingo María. Le matériel génétique prometteur (clones) de cacao utilisé, était le résultat d'un processus de sélection-hybridation-sélection généalogique individuel, réalisé par le Cocoa Genetic Improvement Program initié en 1995 et dirigé par M. Sc. Luis García, chargé de recherches de l'Université nationale agraire de La Selva - Tingo María, Huánuco (Pérou). À l'exception du clone S-60 (sélectionné dans la plantation) de San Martín, les clones ont leurs généalogies respectives qui avaient été caractérisées sur le plan morpho-agronomique et publiées dans le Catalogue des cultivars de cacao du Pérou (2012). Les clones S-8 et S-12 sont des hybrides du croisement entre 2 clones de Trinitarian. Le clone S-23 est un hybride du croisement de 2 clones de Forasteros Alto Amazónicos, avec la mère en provenance d'Iquitos et le père de Cusco. Le clone S-28 est un hybride du croisement entre 2 clones, le premier Trinitarian et le second Stranger de la haute Amazonie.

N°	CODE	GÉNÉALOGIE	PLACE DE SÉLECTION
1	S-8	(ICS-95 x UF-296), 8	Station Tulumayo
2	S-12	(ICS-95 x UF-296), 12	Station Tulumayo
3	S-23	(IMC-67 x U-68), 16	Station Tulumayo
4	S-28	(ICS-1 x SCA-6), 20	Station Tulumayo
5	S-60	Inconnu	Plantation d'un agriculteur de San Martín

En conséquence, il y a une tendance à la réduction du Cd de juin à septembre (mois de précipitations plus faibles) et une augmentation en octobre et novembre (mois de précipitations plus importantes). En général, l'accumulation de Cd était plus importante dans les feuilles (1,288 ppm) et plus faible dans les graines (0,894 ppm) en moyenne. De même, il y avait des réponses différentielles entre les clones, avec les clones S-08 et C-60 ayant les accumulations de Cd les plus basses avec 0,650 ppm et 0,815 ppm respectivement dans la fève. De plus, des interactions synergiques pertinentes ont été constatées entre Cu/Zn, Mn/Fe, Fe/Zn et Cu/Pb, et des interactions antagonistes entre Cd / Zn et Cd / Cu.

De futures études de cinétique d'accumulation de Cd et autres métaux lourds dans les fèves de cacao devraient être effectuées toute l'année et pour chaque phase phénologique, incluant d'autres clones de cacao d'origine génétique et potentiel hypoaccumulateur différents.

72. PÉROU

Davila C., 2018 a, Approche technologique pour réduire la concentration du Cd dans les fèves de cacao.

La Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga (CAICAH), située à Tingo María, Huánuco, a diagnostiqué le Cd des fèves de cacao de ses associés et déterminé une concentration moyenne de 0,84 ppm.

À ce jour, la CAICAH a développé une série de technologies à appliquer pour réduire la concentration en cadmium dans les fèves de cacao.

Après 2 ans de recherches, nous pouvons donner les technologies les plus efficaces en ce sens :

Le chaulage des sols (dont le pH est inférieur à 5,5). Dans les sols acides, le Cd est plus disponible et peut être facilement absorbé par les plantes. Le chaulage apporte du calcium à la solution du sol, qui est un antagoniste du Cd. Il permet aussi d'augmenter le pH et les charges négatives du sol, ce qui facilite l'adsorption et la complexation du cadmium dans le sol, et le rend indisponible pour les plantes. Les matières flottantes qui peuvent être utilisées pour augmenter le pH du sol sont les suivantes : la chaux agricole $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, SiO_2 , CaSO_4 , la chaux hydratée $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ et la dolomite $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$. Le projet de la CAICAH a évalué l'effet de la dolomite sur la baisse du cadmium dans les fèves de cacao, trois traitements ont été utilisés : 1,80 kg de dolomite/plant, 2,70 kg de dolomite/plant et 3,60 kg de dolomite/plante, avec les résultats suivants après un an : 0,52 ppm, 0,47 ppm et 0,45 ppm de Cd dans les fèves de cacao pelées respectivement, via la méthode officielle 999.1-AOAC.

Conclusion : L'application de dolomite dans les plantations de cacao réduit la concentration de cadmium dans les fèves, l'effet est donc positif.

Application de matières organiques (compost, lisier de volaille, humus, lisier, etc.)

Grâce aux groupes fonctionnels (OH, COOH, NH₂, CONH₂, CO, quinones, etc.) des substances humiques, les matières organiques réagissent avec le Cd, donnant lieu à des complexes du Cd ou chélates ; ceci a pour résultat la disponibilité de l'absorption de Cd dans les plantes. Les matières organiques apportent du carbone aux microorganismes du sol, ce qui permet d'obtenir un accroissement de la population microbienne et de l'activité enzymatique. Les microorganismes du sol permettent la précipitation, la séquestration, la volatilisation et la complexation du cadmium, ce qui favorise l'adsorption du Cd dans le sol. Il est possible d'utiliser du compost, du fumier de volaille, du humus, du fumier, etc. ; les quantités à appliquer par ha dépendront de la concentration en matières organiques du sol indiquée dans l'analyse de caractérisation. En général, le sol doit être traité avec une teneur moyenne de 3 à 4 % afin de préserver ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. La CAICAH a évalué l'effet du compost et du lisier sur la réduction du Cd dans les fèves de cacao.

Les traitements suivants ont été appliqués : Compost : dose de 27,00 kg/plante ou de 30,00 MT/ha, 54,00 kg/plante ou 60,00 MT/ha et 81,00 kg/plante ou 90,00 MT/ha. fumier de volaille : dose de 27,00 kg/plante ou 30,00 MT/ha, 54,00 kg/plante ou 60,00 MT/ha et 81,00 kg/plante ou 90,00 MT/ha et parcelle témoin : dose de 00,00 kg/plante ou 0,00 MT/ha. Après un an d'évaluation, la concentration en Cd observée pour chaque traitement au compost était de 0,08 ppm, 0,17 ppm, 0,11 ppm ; au fumier de volaille : 0,09 ppm, 0,22 ppm, 0,28 ppm et dans la parcelle témoin : 0,19 ppm. Conclusion : L'application de matières organiques dans les plantations de cacao diminue la teneur en cadmium des fèves de cacao, jusqu'à atteindre des valeurs très petites de 0,08 ppm. Les États-Unis font observer que le Cd ne peut être volatilisé en-dessous d'environ 800 °C. Le Cd dans le sol peut être plus fortement adsorbé et lessivé, mais pas volatilisé. En outre, les matières organiques permettent d'augmenter la capacité d'échange cationique.

Utilisation de sulfate de zinc dans les formules des engrais

Le Zn a un effet antagoniste avec le Cd ; des études vénézuéliennes ont déterminé qu'un ratio Zn:Cd supérieur à 1 000 entraînait une baisse de l'adsorption du Cd dans les fèves de cacao, déterminée à 0,05 ppm au maximum.

La CAICAH a réalisé des études utilisant trois (3) doses de sulfate de zinc pour réduire la concentration de Cd dans les fèves de cacao en utilisant les traitements suivants : 0,00 kg de sulfate de Zn/plante, 0,09 kg de sulfate de Zn/plante, 0,18 kg de sulfate de Zn/plante et 0,27 kg de sulfate de Zn/plante. Après un an d'évaluation, les résultats suivants ont été obtenus : 1,92 ppm, 1,83 ppm, 1,86 et 1,49 ppm respectivement.

En conclusion : Le sulfate de Zn a un effet positif sur la réduction de la concentration de cadmium dans les fèves de cacao. L'application de sulfate de zinc a été réalisée parallèlement à une fertilisation équilibrée réalisée annuellement dans la plantation de cacao, conformément aux exigences des cultures et du sol (analyse de caractérisation).

Traitement des fèves de cacao après la récolte

Le cacao CCN-51 est un clone avec une forte concentration de mucilage, supérieure à celle des cacaos créoles. Des études réalisées par la CAICAH ont montré des quantités de Cd dans le mucilage supérieures à celles de la coque et du grain. Il est suggéré que pendant le processus de fermentation du grain, du Cd pourrait passer du mucilage aux cotylédons. Afin de clarifier cette hypothèse, le mucilage des fèves de cacao a été égoutté pendant 24 heures dans des filets avant d'être mis dans des caisses de fermentation pour obtenir une réduction de 29 à 12 % de la concentration de Cd dans les fèves par rapport à la parcelle témoin (fèves de cacao sans égouttage du mucilage). Les résultats obtenus sur la concentration de Cd dans les fèves de cacao étaient les suivants : T1 (levure, estimation basse, sans égouttage = 0,48 ppm), parcelle témoin (sans levure, sans égouttage = 0,46 ppm), T2 (égouttage de 24 heures = 0,33 ppm), T3 (levure, estimation basse, sans égouttage, lavage des fèves = 0,63 ppm).

Conclusion : l'égouttage du mucilage a un effet positif sur la réduction du Cd dans les fèves de cacao.

Remarque : la quantité de mucilage évacué des fèves de cacao n'avait pas affecté les qualités physiques ou organoleptiques du cacao à l'heure de l'évaluation.

73. PÉROU

Dávila, C. 2018c. « Effet du compost et du fumier de volaille sur les propriétés physicochimiques du sol et la teneur en cadmium des fèves de cacao sèches (*Theobroma cacao* L), CCN-51 »

Les matières organiques ont été étudiées en tant que source de séquestration et de complexation du cadmium et dans les fèves de cacao, leur niveau ne dépasse pas 0,50 ppm.

Il y a eu une évaluation de l'effet du compost et du fumier de volaille sur les propriétés physicochimiques du sol et sur la teneur en Cd des fèves de cacao CCN-51 sèches, de la ferme « San Pedro », ferme Trampolín, district Daniel Alomía Robles, province de Leoncio Prado, région de Huánuco, au cours des mois de février à novembre 2015.

L'étude a été menée dans une plantation de clone CCN-51 de cacao en production depuis 8 ans, dans des sols dégradés où du cacao était cultivé auparavant. Avec des niveaux initiaux de 3,55 ppm de cadmium dans les grains (le niveau maximal de Cd admis est de 0,50 ppm), cette plantation bénéficie actuellement d'une certification biologique, avec une production approximative de 500,00 kg/ha/an. L'unité physiographique correspond à Lomada, climat de forêt tropicale très humide (vhf-T), avec une température moyenne de 25,53 °C, une moyenne de précipitations de 219,13 mm/mois, une humidité relative moyenne de 83,4 %, une moyenne d'heures d'ensoleillement de 158,63, qui était supérieure en août, à une altitude de 740 mètres au-dessus du niveau de la mer et avec les coordonnées géographiques suivantes : mN 8981978, mE 395270.

Quant à son analyse physicochimique, le sol est d'une texture franche, pH légèrement acide, matière organique moyenne, N à un niveau moyen, P avec un niveau élevé et K avec un faible niveau, une capacité d'échange cationique égale à 10,03 meq/100 g de sol ; avec un Cd disponible de 2,72 ppm.

Le désherbage était effectué manuellement (machette) et mécaniquement (motoguadaña) ; ensuite, le traitement consistait à utiliser de compost et du fumier de volaille en différentes proportions : 27,00, 54,00, 81,00 kg / plante chaque, utilisant 30,00, 60,00, 90 MT/ ha pour chaque combinaison, avec 6 traitements et un groupe témoin. La fertilisation standard utilisée était la formule d'engrais (60 - 70 - 60), calculée pour une production estimée de 1000 kg de fèves sèches par ha pour l'année 2015. Les intrants utilisés comme macronutriments ont été le Sulpomag, guano des îles, dont la teneur en P_2O_5 couvrait les besoins de la plantation, car le sol a un pH > 5,5. Les micronutriments utilisés étaient l'ulexite (B) à une dose de 20,00 kg / ha, le sulfate de Zn, le sulfate de Fe et le sulfate de Cu ; chacun des sulfates était utilisé à un taux de 5,00 kg /ha.

Selon le plan expérimental, sur des blocs complètement randomisés, avec 7 traitements et 4 répétitions, pour l'analyse de variance et la comparaison de moyennes, le test Duncan avec un seuil de signification de $\alpha = 0,05$ était utilisé.

L'analyse du cadmium total dans les échantillons de cacao a été réalisée par la méthode en milieu humide, en excluant le testa des graines, conformément au protocole, et la quantification du Cd disponible dans le sol a été effectuée par la méthode selon WETERMAN.

Il a été démontré que le Cd augmentait dans le sol à mesure que les doses de compost et de fumier de volaille augmentaient, ne dépassant pas la norme environnementale pour les terres agricoles, qui est de 1,40 ppm de Cd (Ministère de l'Environnement, 2017). Dans les fèves de cacao, l'effet du compost et du fumier de volaille sur la teneur en Cd n'avait pas de signification statistique entre les traitements, mais mathématiquement si. Il a été déterminé que le traitement T1 (compost à 30 Mt/ha) avait une teneur en Cd inférieure dans les fèves, avec 0,076 ppm (réduisant 59,114 % du Cd par rapport à la parcelle témoin) et une teneur en matières organiques de 3,74 %, ce qui explique que la teneur supérieure en matières organiques dans le sol prévient l'absorption de Cd par les plantes dans divers organes. Le pH enregistré était de 4,87, ce qui confirme le fait que dans des conditions acides, les matières organiques du sol constituent la variable la plus importante qui régit la biodisponibilité du Cd dans le sol.

Concernant le fumier de volaille : le traitement le plus efficace pour réduire le Cd dans les fèves de cacao était le T4 (fumier de volaille à 30,00 t/ha) avec 0,086 ppm de Cd, ce qui résulte du fait d'avoir la teneur en matières organiques la plus élevée dans le sol (3,82 %), corroborant ainsi l'idée que les plantes absorbent moins de Cd lorsque le sol a une teneur en matières organiques plus élevée. Des doses supérieures à 30 t/ha de compost et de fumier de volaille, augmentaient la teneur en Cd dans les fèves de cacao sèches, par rapport au traitement T1.

Les traitements T6 et T5 obtiennent la teneur en Cd la plus élevée dans les fèves de cacao en appliquant des quantités supérieures à 30 t/ha de fumier de volaille, ce qui contribue à l'absorption du Cd par le cacao, indiquant ainsi que des volumes supérieurs à 30 t/ha de compost et de fumier de volaille ne sont pas nécessaires pour diminuer les teneurs en Cd des fèves de cacao et que par conséquent, des quantités inférieures devraient être utilisées.

Le chercheur recommande de poursuivre les études de bioremédiation du Cd dans la culture et la production du cacao, dans d'autres type de sols et différents endroits avec des teneurs significatives de Cd dans les fèves, indiquant que le processus d'humidification des matières organiques dans le sol est

lent. De même, il suggère que des travaux de cette nature devraient être évalués au moins deux à trois ans pour obtenir de meilleurs résultats.

74. PÉROU

Falcon, G y Davila, C. 2019. « Effet de la fermentation sur la teneur de Cd et la teneur totale de polyphénols des fèves de cacao (*Theobroma cacao* L.) Clone CCN-51 ».

Dans la présente étude, la fermentation des fèves a été exécutée dans certaines conditions, telles que l'égouttement du jus et l'utilisation de levures, étant donné que le jus et la pulpe de cacao contiennent une moyenne de 6,80 ppm de cadmium (IPNI, 2015) et que les microorganismes tels que les levures ont la propriété de séquestrer le Cd dans les parois de leurs cellules, diminuant ainsi la concentration de Cd dans les fèves de cacao.

Objectif général : Évaluer l'effet du processus de fermentation sur les concentrations de Cd et de polyphénols totaux des fèves de cacao du clone CCN-51.

Objectifs spécifiques : Déterminer l'effet de fermentation sur la teneur en macro et microéléments (Cd) des fèves de cacao du clone CCN-51.

La présente étude a été effectuée au cours des mois octobre, novembre et décembre de l'année 2018, au centre de prestations de la Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga (CAICAH), située dans le district de Castillo Grande, province de Leoncio Prado, région de Huánuco. Selon la classification du scientifique américain Holdridge, cette zone correspond à un climat de forêt tropicale très humide (vhf - T), température moyenne 26 °C, humidité relative 84 %, coordonnées géographiques : mE 0389535 et mN 8974399, à une altitude de 654 mètres au-dessus du niveau de la mer.

La parcelle à partir de laquelle les fèves de cacao ont été extraites, est appelée « El Mirador », appartenant à Mme Cecilia Huacho Hualinga, située dans le hameau de Venenillo, district de José Crespo y Castillo, province de Leoncio Prado, région de Huánuco ; il s'agit d'une parcelle de 8 ha, elle abrite une culture de CCN-51 de 12 ans exempte d'ombre. Actuellement, cette parcelle est dotée d'une certification biologique, avec une production estimée de 1000 kg/ha/an de fèves sèches. L'unité physiographique où la plantation de cacao est installée correspond à une terrasse moyenne, dont la teneur initiale de Cd disponible dans le sol et le Cd total des fèves de cacao étaient respectivement de 0,18 et 1,80 ppm. Les données météorologiques, obtenues à partir de la station météorologique expérimentale « José Abelardo Quiñones » de Tingo María, correspondant à l'année 2018, indiquent les valeurs moyennes suivantes : température 25,41 °C, précipitations 297,94 mm/mois, humidité relative 84,08 %, et les heures d'ensoleillement étaient au nombre de 145,59, chiffre plus élevé durant le mois d'août.

Le tableau 7 montre l'analyse physicochimique du sol de la parcelle El Mirador.

Tableau 7. Analyse physicochimique du sol (parcelle).

Paramètre	Valeur	Méthode utilisée
Analyse physique :		
Sable (%)	16,00	Hydromètre
Argile (%)	19,00	Hydromètre
Limon (%)	65,00	Hydromètre
Classe texturale	Limon fin	Triangle textural
Analyse chimique :		
pH (1: 1) dans l'eau	7,15	Potentiomètre
M. O. (%)	1,48	Walkey y Black
N - Total (%)	0,07	% M.O. x 0,05
Phosphore disponible (ppm)	10,00	Olsen modifié
Potassium disponible (ppm)	71,00	Acétate d'ammonium
Pb disponible (ppm)	-	-
Cd disponible (ppm)	0,18	EDTA - AAE
Ca échangeable (cmol(+)/kg)	9,66	AAE
Mg échangeable (cmol(+)/kg)	1,41	AAE
K échangeable (cmol(+)/kg)	0,06	AAE

Na échangeable (cmol+)/kg)	0,94	AAE
Al échangeable (cmol+)/kg)		Yuan
H échangeable (cmol+)/kg)		Yuan
CIC	12,07	AAE
Bas. Camb. (%)	100,00	Ca + Mg +K+ Na/CIC x 100
Ac. Cam. (%)	0,00	CIC - Bas. Camb.
Sat. Al (%)	0,00	

Source : Laboratoire d'analyse des sols de l'Université nationale agraire de La Selva - UNAS.

Méthodes - Composants dans l'étude

Des fèves de cacao CCN-51 fraîches ont été utilisées, égouttées et non égouttées, et ayant atteint la maturité physiologique optimale d'une plantation adulte de 12 ans.

La levure utilisée dans cette recherche est la souche *Saccharomyces cerevisiae*, qui a une forte affinité pour les métaux lourds, obtenue sur le marché de Tingo María.

La description des traitements à l'étude est présentée au tableau 8.

Tableau 8. Description des traitements à l'étude

Traitements	Description
T ₀	Fève fermentée non égouttée
T ₁	Fève fermentée égouttée pendant 36 heures
T ₂	Fève fermentée non égouttée + <i>Saccharomyces cerevisiae</i> à 1 % p/p
T ₃	Fève non fermentée (parcelle témoin)

Exécution de la recherche

Sélection de la parcelle de cacao du clone CCN-51

Avant de commencer l'étude, l'échantillonnage et la quantification du Cd total de plusieurs parcelles de cacao ont été effectués, afin d'en identifier une qui a une teneur en Cd supérieure à 1,50 ppm. La parcelle de cacao sélectionnée avait une teneur de Cd total de 1,80 ppm, en excluant la coque.

Collecte des fèves de cacao

Les cabosses à maturité physiologique de la parcelle de cacao sélectionnée, ont été récoltées. Le cassage des cabosses a été effectué à l'aide d'une machette sans tranchant ; dépôt des fèves de cacao dans des seaux en plastique, en évitant à tout moment l'égouttage du mucilage ; dans l'après-midi, aux alentours de 16 h, les fèves ont été transférées dans des timbos (conteneurs en bois de timbó) de 200 l vers le centre de collecte de la CAICAH. Les fèves ont été transportées le jour même de la récolte, en utilisant des unités motorisées.

Mise en œuvre de traitement – fermentation

La mise en œuvre des traitements a été effectuée selon la méthodologie suivante :

Traitement T₀ :

La fève de cacao fraîche, arrivée de la plantation, a été fermentée dans des caisses en bois ; la masse de cacao a été couverte de sacs de jute, ainsi que l'ont été tous les traitements. Le premier transfert des fèves a été effectué au bout de 48 heures et a tourné toutes les 24 heures. Les fèves ont fermenté pendant 6 jours au total. 60 kg de fèves fraîches étaient utilisés pour chaque répétition. Cette méthode de fermentation CAICAH a été utilisée pour les volumes de cacao.

Traitement T₁ :

Pour ce travail, un filet simple avec une maille de 0,50 cm de diamètre a été utilisé ; suspension du filet avec les fèves fraîches sur une traverse en bois pendant 36 heures, afin de garantir l'égouttage des fèves. Après cela, la masse de cacao devant subir la fermentation a été simplement placée dans des caisses en bois. Le premier transfert a été effectué au bout de 48 heures, puis toutes les 24 heures.

Elle a subi une fermentation pendant une période de 6 jours. 60 kg de fèves fraîches ont été utilisés pour chaque répétition.

Traitement T₂ :

Les souches de *Saccharomyces cerevisiae* ont été appliquées sur les fèves fraîches arrivées de la plantation. Pour ce faire, 60 g de levures ont été pesées, les activant pendant une période de 20 minutes dans 120 g de sucre dilué dans 420 ml d'eau à une température de 37 °C ; une fois que les souches de levure ont été appliquées, la masse fraîche a été couverte avec des sacs de jute, commençant ainsi son processus de fermentation. La première tournée de pâte a été effectuée au bout de 48 heures, puis toutes les 24 heures. La durée de fermentation des fèves de cacao a été de 5 jours. 60 kg de fèves fraîches ont été utilisés pour chaque répétition.

Traitement T₃ :

Des fèves de cacao fraîches de la plantation ont été séchées par rayonnement solaire direct. Trois (3) kg de graines fraîches ont été utilisés pour chaque répétition.

Au cours de cette expérience, la température quotidienne a été enregistrée pour chaque traitement.

Séchage des fèves de cacao

En utilisant des sacs de première main en polypropylène, les échantillons de cacao ont été séchés par rayonnement solaire direct, jusqu'à une humidité approximative de 7 %. Au moment du séchage, les échantillons de cacao ont été correctement identifiés pour chaque traitement, en utilisant un marqueur indélébile et du ruban-cache. Une fois séchés les échantillons de cacao de chaque traitement, ils ont été codés et envoyés au laboratoire pour leur analyse respective de Cd et de polyphénols.

Teneur en Cd dans la fève de cacao

La teneur en Cd total des fèves de cacao a été quantifiée par spectrométrie d'absorption atomique à la flamme (FAAS), en utilisant la méthode officielle de AOAC 999.11. Les analyses ont été effectuées dans le Laboratoire de chimie agricole « Valle Grande », Cañete, Lima. La méthode utilisée pour la quantification du Cd total dans les fèves, exclut le testa ou coque.

La valeur du coefficient de variation (C.V.) pour la teneur de Cd, était de 17,97 %.

Le traitement T₃ (fève non fermentée) a les teneurs moyennes de Cd les plus élevées, avec une valeur de 1,21 ppm ; pour le Cd, la valeur la plus basse est démontrée dans le traitement T₂ (fève fermentée non égouttée + *Saccharomyces cerevisiae* à 1 %) avec 0,54 ppm.

La teneur de Cd obtenue au cours de cette recherche est similaire à celle rapportée par Tantalean (2017), qui a effectué la caractérisation nutritionnelle des fèves de cacao à partir d'un sol alluvial dans la vallée Alto Huallaga, dont la teneur moyenne était de 0,84 ppm.

En général, le traitement T₃ (fève non fermentée - parcelle témoin), contient les teneurs les plus élevées de macro et microéléments par rapport aux autres traitements ; ce traitement a atteint le pourcentage le plus faible de fermentation (68 %), ce qui influencerait la teneur en nutriments ; à savoir, plus la teneur en fermentation est faible, plus la teneur en nutriments est élevée dans le cotylédon de la fève de cacao. Il semble que lorsqu'il y a des faibles pourcentages de fermentation, les composés organiques présents dans le cotylédon de fève de cacao ne se dégraderaient pas ; par conséquent, il n'y aurait pas d'émission de substances vers l'environnement extérieur de la fève.

N'oubliez pas que durant la phase de fermentation, l'humidité de la fève reste au-dessus de 35 %, ce qui permet une activité enzymatique (Thompson et al., 2001, cité par Pancardo, 2016). Le traitement T₂ (grain non égoutté fermenté + *Saccharomyces cerevisiae* à 1 %) a obtenu la teneur en cadmium la plus faible (0,54 ppm) ; ceci est peut-être lié à l'activité biologique des levures qui ont la propriété d'absorber les métaux lourds (Cd, Pb et Zn) dans les parois de leurs cellules, grâce à des composés organiques appelés peptidoglycanes spécifiques pour la souche *Saccharomyces cerevisiae*. La souche de *Saccharomyces cerevisiae* est l'une des souches natives qui intervenaient dans la fermentation du cacao ; le fait d'augmenter sa population dans ce processus pourrait améliorer l'absorption de Cd et améliorer la qualité du cacao (sécurité). La capacité de biosorption de ces microorganismes est due à la quantité de composés organiques capables de séquestrer et/ou d'échanger des ions métalliques, parmi lesquels les polysaccharides, glycoprotéines, flavonoïdes, etc., dans lesquels les centres d'attraction de cations sont les groupes fonctionnels amine, hydroxyle, carboxylate, phosphate et sulfhydryle (Chávez et al., 1993). Lanza et al. (2016) lors de l'analyse de la teneur de Cd des cotylédons d'un cacao hybride du Venezuela, fermenté et sans ferment, ont constaté des différences dont les valeurs étaient : cacao fermenté (1,74 ppm) et cacao sans fermentation (2,09 ppm). Au cours du processus de fermentation, les métaux pouvaient se déplacer du cotylédon vers la coque de la fève par flux de masse. La composition chimique (teneur en macro et micronutriments) des fèves de cacao peut

varier en fonction du type de fève, de fermentation, de séchage et de traitement ultérieur (Arvelo et al., 2017).

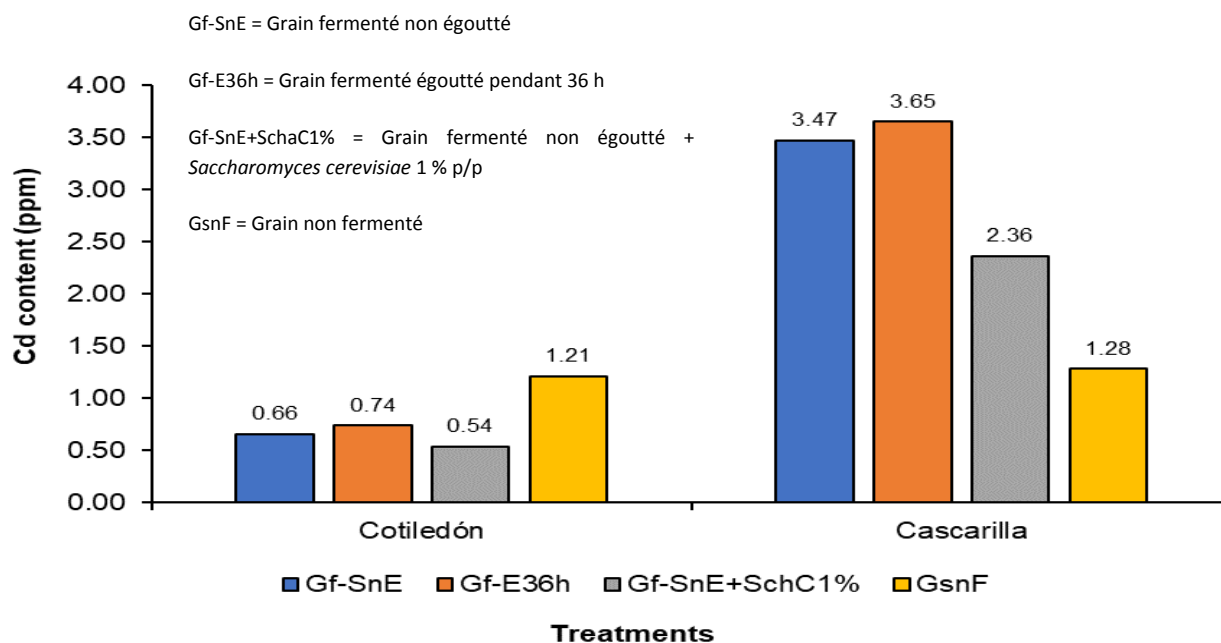
En ce qui concerne la teneur de Cd dans la coque des fèves de cacao en relation avec les traitements faisant l'objet de l'étude :

Les traitements T₀, T₁ et T₂, ont les valeurs les plus élevées de teneur de Cd dans la coque, augmentant possiblement sa concentration en raison de sa migration à partir des cotylédons de fève de cacao, en conséquence du processus biochimique de fermentation. Le T₃ (traitement de fève non fermentée) a les teneurs en Fe les plus élevées, probablement du fait que ces fèves ont subi des modifications chimiques majeures en raison de la fermentation sans perte de substances organiques dans la coque. Finalement, il est évident que la coque contient plus de Fe, suivie par Zn, Cu et Cd.

Au cours des dernières années, un des microéléments du cacao qui a pris une grande importance dans le monde entier est le Cd, qui est analysé indépendamment à la fois dans le cotylédon et dans la coque de la fève de cacao. Dans la figure 1, il est indiqué que la teneur de cadmium est supérieure dans la coque par rapport au cotylédon de la fève de cacao. En moyenne, une valeur de 0,79 ppm a été obtenue dans le cotylédon, et de 2,69 ppm de Cd dans la coque, produisant un rapport coque/cotylédon égal à 3,40. Lorsque les fèves de cacao atteignent un pourcentage de fermentation supérieur à 80 %, comme c'est le cas dans la présente étude, la teneur en cadmium des cotylédons est réduite en conséquence de la migration vers le testa et vers l'environnement extérieur. Les fèves non fermentées ont des teneurs en Cd très similaires, à la fois dans le cotylédon (1,21 ppm) et dans la coque (1,28 ppm).

La figure 1 montre clairement que la fermentation de la fève dans toute modalité ou traitement, diminue la teneur en Cd des cotylédons de fèves de cacao.

Figure 1. Teneur en cadmium dans le cotylédon et les coques de fève de cacao en ce qui concerne les traitements à l'étude.



75. PÉROU

Ardiles, M. 2012. « Prospection du cadmium et du plomb dans trois cultivars de cacao dans les sols de la vallée de Kumpirushiato, Echarati, » La Convención. Cusco

Environnement de l'étude : Localisation : secteurs du district d'Echarati de Kuviriari, Alto Kepashiato, Cigakiato, Puguientimari dans la vallée de Kumpirushiato, Echarati-La Convención-Cusco. Climat semi-chaud avec des hivers secs, avec des précipitations annuelles de 1211,5 mm et une température annuelle moyenne de 24,9 °C. Les pluies sont réparties en une période sèche entre les mois de mai et juin et une période avec des précipitations abondantes entre les mois de décembre et mars. Il s'agit de zones avec une intervention anthropique dans lesquelles se déroule une activité agricole intense, une biozone de forêt humide subtropicale, de topographie accidentée avec des pentes prédominantes dans les secteurs de Kuviriari (45%), Alto Kepashiato (33%), Cigakiato (42%), Puguientimari (48%), qui sont réparties d'une manière importante et dispersée à travers toute la vallée.

Méthodologie et résultats : Elle a travaillé sur douze (12) échantillons de fèves de cacao (*Theobroma cacao*) : trois CCN-51 (Collection Castro Naranjal -51), trois ICS-1 (Collection Institute College Selection

-1), trois ICS -95 (Collection Institute College Selection - 95) de chacun des secteurs et dans 04 échantillons de sol : un de chaque secteur extrait à 30 cm de profondeur conformément à ce qui est établi dans la norme mexicaine NMX-AA-132-SCFI-20 (échantillonnage de sol pour l'identification et la quantification de métaux, métalloïdes et la manipulation des échantillons), concluant que dans les quatre secteurs à l'étude, le cadmium n'a pas été détecté dans le sol ou, à défaut, il est observé à des niveaux qui ne sont pas perceptibles. Ces résultats sont au-dessous des normes de qualité environnementale pour le sol, décrétées dans le D.S. 002-2013-MINAG (2013). La méthode utilisée pour la détermination du cadmium est la méthode EPA 6010B « Détermination de métaux et oligoéléments, déchets, sols, boues, sédiments, et autres déchets solides par spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif ». Rév. 2. Janvier 1995. Les échantillons ont été analysés dans le laboratoire Envirolab-Pérou. Du cadmium a été détecté dans les fèves de cacao uniquement dans les cultivars ICS-95 (0,3 mg/kg) et CCN-51 (0,2 mg/kg), dans la parcelle du secteur de Cigakiato.

76. PÉROU

Marie Zug, K, Huamaní Yupanqui, H, Julia Susanne Frank Meyberg et Cierjacks Arne Cierjacks. 2019. Accumulation de cadmium dans le cacao péruvien (*Theobroma cacao* L.) et possibilités d'atténuation. Pollution de l'eau, de l'air et du sol

Les cultures sont la principale source de Cd toxique pour les humains, en raison de l'absorption à partir de sols pollués naturellement ou de manière anthropique. L'ingestion de Cd chronique entraîne des lésions des reins du foie et du squelette, conjointement à un risque accru de cancer. Le cacao est connu pour accumuler le Cd et peut donc être potentiellement dangereux pour la santé humaine. Par conséquent, la production de cacao sur des sols fortement pollués devrait être évitée. Les produits de cacao en provenance d'Amérique du Sud dépassent souvent les limites pour le Cd, mais les facteurs qui entraînent une absorption de Cd sont mal étudiés jusqu'à présent. Dans cette étude, nous avons mesuré des concentrations de Cd dans de la poudre de cacao dégraissée provenant de graines non fermentées de 40 arbres différents sur 20 fermes dans la région de Huánuco, Pérou, et nous avons associé les niveaux de Cd avec le sol des fermes, la gestion du terrain et la diversité de végétation à proximité.

La concentration de Cd moyenne constatée dans le cacao de la région étudiée, était de 2,46 mg kg⁻¹ avec une plage de 0,2 à 12,56 mg kg⁻¹. La teneur maximale mesurée était un ordre de magnitude supérieur à la limite autorisée de 1,5 mg kg⁻¹, et il s'agissait de la plus forte rapportée jusqu'à maintenant dans la documentation. La teneur en Cd du sol était le moteur le plus important de la concentration de Cd dans le cacao. De plus, l'engrais utilisé provoquait une concentration de Cd beaucoup plus élevée dans le cacao. Une plus grande biodiversité d'herbes était positivement corrélée avec les teneurs de Cd dans le cacao. L'étude montre que, mise à part la corrélation connue des conditions de sol avec l'accumulation de Cd dans les graines de cacao, des modifications dans la fertilisation et la composition des plantes peuvent s'avérer des mesures prometteuses pour contrebalancer la contamination au Cd dans des régions avec une teneur en Cd élevée dans le sol.

La version en ligne de cet article (<https://doi.org/10.1007/s11270-019-4109-x>) contient du matériel supplémentaire, qui est accessible aux utilisateurs autorisés.

77. PÉROU

Condori, D. 2018. Pérou. Informe de Estudio : « Cadmio en el cultivo del cacao »

OBJECTIFS : a) Mener un examen bibliographique actualisé sur les sources, causes, effets, contenus et implications de la teneur de Cd dans la culture du cacao et b) Décrire des propositions pour l'atténuation et/ou dépollution du cadmium dans les zones de cultures et les fèves de cacao.

L'émission de Cd dans l'environnement est augmentée par l'action de l'humain (combustion de combustibles fossiles, métallurgie, fabrication de batteries, pigments, incinération de déchets), par l'utilisation d'engrais et produits agrochimiques à base de phosphate ; de plus, le fait de fumer a été identifié comme un contributeur significatif possible à l'exposition au Cd.

L'augmentation des niveaux de Cd dans la plante peut être due à divers facteurs, tels que :

Facteurs édaphiques (sol)

- pH, l'adsorption augmente lorsque le pH diminue
- Salinité du sol, l'adsorption augmente avec la salinité
- Teneur en Cd, l'adsorption augmente sa concentration
- Micronutriments, la déficience en Zn augmente l'adsorption de Cd
- Teneur en matières organiques, l'adsorption diminue avec son augmentation

Facteurs des cultures

- Cultures, certains types de cacao absorbent plus de Cd que d'autres
- Tissu de la plante, feuille > amande (mucilage > testa > cotylédon) > racines
- Âge des feuilles, vieilles feuilles > jeunes feuilles

Facteurs anthropiques

- Utilisation excessive de pesticides qui contiennent des traces de Cd, éliminent les microorganismes efficaces dans le sol.
- Utilisation excessive d'engrais phosphatés, contiennent des traces de Cd (de 0,1 à 170,00 mg/kg)
- Utilisation excessive de guano des îles, peut contenir des traces de Cd (de 2,44 à 5,50 mg/kg)
- Irrigation avec des rivières contaminées, particulièrement dans les zones ou anciennes zones minières.

Propositions pour l'atténuation et/ou la dépollution de la teneur de Cd dans la culture du cacao

La réhabilitation des sols peut être l'un des nombreux outils viables pour réduire la solubilité du Cd, évitant ainsi l'absorption excessive et l'accumulation de Cd dans les plantes. Sur la base des résultats de diverses études, une série de recommandations préliminaires sont présentées pour aider les producteurs de cacao à faire face à la contamination potentielle du Cd dans la culture du cacao.

Avant l'atténuation et/ou la dépollution :

Analyse chimique du sol (pH, macro et micronutriments)

Évaluation de la teneur de Cd dans le sol, l'eau d'irrigation et les fèves de cacao

Stratégie dans les nouvelles plantations :

Installer des plantations dans des sols agricoles qui contiennent moins de 1,4 ppm de Cd total et avec une eau d'irrigation dont les teneurs ne dépassent pas 0,005 mg / l.57

Installer les plantations dans des zones à l'écart des routes ou prendre des mesures afin de prévenir le contact du cacao avec les gaz émis par la combustion des véhicules. Les plantations doivent également être à l'écart des décharges des villes ou des zones minières.

Stratégie dans les plantations déjà installées :

Augmenter les concentrations de Zn et de Mn dans le sol. Le sulfate de Zn a un effet positif sur la réduction de la concentration de cadmium dans les fèves de cacao. L'application de sulfate de Zn doit être effectuée d'une manière équilibrée en fonction des besoins de la culture et du sol.

Appliquez des niveaux de calcaire en faibles doses (dolomite - $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) pour augmenter graduellement le pH et incorporer du Ca et du Mg, et réduire l'absorption du Cd. De la chaux pourrait également être appliquée pour corriger le pH et obtenir le même résultat.

Augmenter la teneur en matières organiques du sol et améliorer l'activité biologique en utilisant des engrais ou engrais biologiques (compost, humus, bocashi, entre autres).

Éviter l'utilisation d'engrais phosphoreux et de roches phosphorées qui peuvent contenir de fortes concentrations de Cd, et vérifier la teneur en métaux lourds. La conductivité électrique recommandée est de 30 ppm de Cd/kg maximum.

Utiliser des engrais à l'azote et au potassium (NPK), mais vérifier auparavant la teneur en métaux lourds.

Utilisation de charbon activé ou biocharbon, ceci peut adsorber le cadmium et réduire sa biodisponibilité vis-à-vis de la plante.

Utilisation de biofertilisants à base de levure, tels que FERTILEV®, EM® (microorganismes efficaces) et/ou champignons mycorhiziens ; ces organismes ont la capacité d'adsorber le cadmium et de le bioaccumuler ou de l'immobiliser.

Dans les plantations avec une teneur de Cd élevée dans les feuilles, enlever les feuilles de la parcelle après la taille.

Réduire ou éviter l'utilisation de pesticides tels que les fongicides ou insecticides, comme c'est le cas dans l'agriculture biologique. Les pesticides pourraient augmenter la teneur en Cd en ayant un effet négatif sur les microorganismes natifs du sol.

Sélection de variétés de cacao qui n'accumulent pas de hauts niveaux de métaux lourds.

Durant la période d'après récolte du cacao

L'égouttage des fèves avant fermentation (de 12 à 24 heures) permet de réduire la teneur en mucilage du cacao et par conséquent la teneur de Cd dans la fève.

L'utilisation de levures durant la fermentation, des levures telles que la *Saccharomyces cerevisiae* ou autres utilisées pour la production de vin ou de champagne, permet de réduire la teneur de Cd dans la fève.

Éviter de sécher les fèves de cacao sur les routes et/ou de les exposer aux gaz d'échappement des véhicules ; ces pratiques pourraient augmenter la teneur de Cd dans la fève.

L'atténuation et/ou dépollution de Cd doit être abordée d'une manière intégrée, et ces recommandations visant à réduire les niveaux de Cd devraient être mise en œuvre progressivement dans les pratiques agricoles et les opérations après récolte.

Il est important de mentionner que le Pérou, en tant que membre du FAO / OMS est en train de développer un « Code d'usages pour prévenir et réduire la contamination du cacao par le Cd », qui est en cours d'évaluation par le JECFA. Le développement d'un Code d'usages aidera à prévenir et réduire la contamination par le Cd du cacao et des produits à base de cacao, aidant ainsi à réduire les expositions à ce contaminant et les altérations possibles au sein du commerce international.

Conclusions

Le cacao péruvien est en phase de développement et de croissance, et ses marchés principaux sont l'Europe (fève de cacao) et l'Amérique du Nord (chocolat).

Dans certaines zones de production du cacao au Pérou, ainsi que dans la région, la teneur de cadmium dans les fèves de cacao est élevée (> 0,8 à 3,14 ppm) par rapport à la limite maximale (LM) décrite dans le Règlement européen 488/2014 (0,8 ppm) et celle requise par les importateurs.

La teneur de cadmium dans les divers types de chocolat commercialisés dans le pays, semble être conforme aux LM du Règlement européen 488/2014 (0,8 ppm). D'autres données sont encore requises pour confirmer cette conclusion.

L'application du Règlement européen 488/2014 pourrait limiter les exportations péruviennes de fèves de cacao, générant un impact social et économique négatif sur les familles produisant du cacao et les établissements d'exportation.

La teneur élevée de Cd dans le cacao et ses dérivés est un problème réel et actuel ; les solutions devraient être données à partir de chaque phase de la chaîne de valeur.

L'atténuation et/ou dépollution du Cd dans la chaîne du cacao devrait être abordée d'une manière intégrée et progressive, en commençant par les pratiques agricoles, suivies par les opérations après récolte.

L'établissement de LM semble avoir deux connotations. La première est liée à la sécurité, pour réduire l'exposition du consommateur au Cd par le biais des aliments. La seconde est de nature économique pour la négociation commerciale de la matière première.

78. PÉROU

Rojas, R., Rodríguez, C., Ruiz, C., Portales, R., Neyra, E., Patel K., Mogrovejo J., Salazar G., Hurtado, J. 2017. Cacao Chunchu de Cusco

La publication CACAO CHUNCHO DEL CUSCO résume les principaux résultats obtenus durant l'exécution du projet « Du cacao au chocolat : Étude morphologique, génomique, métabolomique et sensorielle du cacao Chunchu de Cusco pour l'assurance qualité et l'innovation de l'industrie chocolatière péruvienne » (Accord 159-PNICP-PIAP-2015), qui était cofinancé par Innovate Perú.

Ce projet avait comme entité requérante l'Université péruvienne de Cayetano Heredia (UPCH) et en tant qu'entités associées l'Institut de recherche pour le développement (IRD), APPCACAO, La Fabrica de Chocolates La Iberica, Chocomuseo et le Centre d'innovation du cacao (CIC).

L'objectif de l'étude était de caractériser morphologiquement, génétiquement, chimiquement et sensoriellement 11 cultivars de cacao « Chunchu » en provenance de Quillabamba, province de La Convención, Cusco.

Remarque : Pour ces travaux, seuls les points concernant le développement proposé d'un Code d'usages pour la prévention et la réduction de la contamination du cadmium dans les fèves de cacao ont été pris à partir de la publication susmentionnée ; mais en gardant toujours à l'esprit les bénéfices nutritifs et l'amélioration génétique pour les cultures de cacao, présentés par le cacao Chunchu en provenance de la région de Cusco.

Processus de fermentation et séchage, et élaboration de la pâte de cacao

La récolte et la préparation des 11 cultivars de cacao ont été effectuées avec le soutien des producteurs, effectuant la récolte de cabosses par type de cacao et plante par plante ; seuls les cabosses à maturité ont été utilisées, en évitant de récolter les cabosses malades, trop mûres et vertes. Ensuite, les fèves de cacao ont été placées dans des sacs en tissu puis introduites dans les tiroirs de fermentation, un processus qui a duré entre 4 et 5 jours en fonction de la taille des amandes. Les tiroirs de fermentation étaient fournis par les producteurs, localisés dans des endroits abrités à Calzada et Cacaopampa, afin de garantir le processus de fermentation requis.

Le processus de séchage a été exécuté dans la ville de Quillabamba en utilisant des palettes en bois, pendant une durée de 5 jours avec 2 à 4 heures d'exposition quotidienne au soleil. Le séchage a été développé selon les critères de Bonnes pratiques de récolte et de préparation du cacao adaptées pour le cacao Chuncho. À la fin du processus de séchage, l'ensachage a été effectué dans des sacs de jute, avec les étiquettes respectives pour l'identification correcte des 11 échantillons de cacao Chuncho.

Les échantillons ont été soumis au processus de torréfaction à une température de 120 °C pendant une durée de 20 minutes. Après avoir retiré la coque et obtenu les grains de cacao, le processus de broyage répété s'est poursuivi pendant une période de 24 heures, jusqu'à l'obtention d'une liqueur de cacao. À cet effet, un moulin manuel et un équipement de broyage de Cocoa Town ont été utilisés.

Métaux lourds

D'autres analyses de minéraux/métaux lourds : Cd, Al, antimoine (Sb), As, baryum (Ba), béryllium (Be), bore (B), cérium (Ce), strontium (Sr), lithium (Li), mercure (Hg), nickel (Ni), argent (Ag), Pb, titane (Ti) et vanadium (V), ont été effectuées par Laboratorios CERPER S.A. en utilisant la technique ICP-AES (Méthode EPA 200.7. 1994. Méthode de spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif pour l'analyse d'oligoéléments dans l'eau et les déchets).

Analyse génétique

Après la caractérisation morphologique des cultivars de cacao sélectionnés, entre 2 et 6 échantillons de feuilles de chacun d'entre eux ont été prélevés ; ensuite, les feuilles ont été transportées dans des sacs ziploc® avec du gel de silice vers l'Unité génomique de l'UPCH, avec les codes suivants :

Cultivar	Code	Répétitions
Chuncho común	Muestra 1	M1-1, M1-2, M1-3, M1-4, M1-5
Común	Muestra 2	M2-1, M2-2
Chuncho	Muestra 3	M3-1, M3-2, M3-3, M3-4, M3-5
Común liso	Muestra 4	M4-1, M4-3, M4-5, M4-7, M4-8
Común rugoso	Muestra 5	M5-1, M5-3, M5-4, M5-5
Común manzana	Muestra 6	M6-1, M6-2, M6-3, M6-4, M6-5
Cáscara de huevo	Muestra 7	M7-1, M7-2, M7-3, M7-4, M7-5
Señorita	Muestra 8	M8-2, M8-3
Achoccha	Muestra 9	M9-1, M9-2, M9-3, M9-4, M9-5, M9-6
Chuncho de montaña	Muestra 10	M10-1, M10-4, M10-5
Pamuco rugoso	Muestra 11	M11-1, M11-2, M11-3, M11-4

Pour l'analyse génétique utilisant la technique AFLP (polymorphisme de longueur des fragments amplifiés), le protocole Doyle & Doyle (1990) a été suivi, avec certaines modifications :

Résultats et discussion

Teneur en cadmium dans les fèves

CULTIVAR	PRODUCTEUR	ZONE	Concentration (Cd mg/kg)
Chuncho	Ricardo Quintanilla Gamarra	Santa Ana – Cacaopampa	0,11
Común	Ricardo Quintanilla Gamarra	Santa Ana – Cacaopampa	0,11
Señorita	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,07
Achoccha	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,10
Cáscara de huevo	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,05
Común manzana	Lorenzo Bedoya Farfán	Santa Ana - San Pedro	<0,05
Común liso	Orlando Tupayachi Muñoz	Santa Ana – Cacaopampa	0,07
Común rugoso	Orlando Tupayachi Muñoz	Santa Ana – Cacaopampa	0,08
Chuncho de montaña	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,08
Chuncho común	Demetrio Villavicencio Pereira	Echarati - Chahuare	<0,05
Pamuco rugoso	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,09

Analyse génétique

Le processus d'extraction avec du bromure de cétyltriméthylammonium a été un succès, permettant d'obtenir une concentration d'ADN de l'ordre de 57,9 à 211,6 ng / μ L avec un rapport A260 / A280 proche de 2, obtenant donc ainsi une bonne qualité d'ADN pour travailler dans les réactions AFLP. Considérant un total de 21 bandes polymorphiques, la matrice de base de présence et d'absence des données d'analyse de bandes se situe dans la plage de 80 à 350 pb.

En conclusion, l'utilisation de la technique AFLP a permis la génération de motifs moléculaires pour différencier génétiquement les cultivars de cacao. Les cultivars « Chuncho Común » et « Común » sont les plus distants génétiquement des autres cultivars. Des regroupements pourraient être proposés pour les autres cultivars, tels que : « Señorita » avec « Achoccha », « Pamuco rugoso » avec « Chuncho de Montaña » et « Chuncho » avec « Común Liso ».

Étude microbiologique du processus de fermentation du cultiva « Cáscara de huevo ».

Durant le processus de fermentation du cultivar de cacao Chuncho « Cáscara de huevo », une variation dans les valeurs pH de la masse a été observée, due à l'action des microorganismes présents dans la caisse de fermentation. Le pH initial de la masse de fermentation était de 4,0, ce qui correspond à ce qui a été publié dans d'autres documents scientifiques où des valeurs de pH dans la plage de 3,5 à 4,5 ont été rapportées. La variation dans le pH apparaît possiblement en raison d'une consommation d'acide citrique par les levures, ce qui permet à son tour la croissance des bactéries lactiques. De plus, une augmentation de température a été observée, jusqu'à atteindre 42,8 °C le 4ème jour de fermentation, ceci du fait que les réactions métaboliques sont hautement exothermiques dans les levures et les bactéries durant le développement de la fermentation.

Au niveau de l'analyse microbiologique, une succession de microorganismes a été observée tout au long du processus de fermentation. En ce qui concerne le 2ème jour, un plus grand nombre de microorganismes était manifeste dans le milieu SMR (Agar De Man, Rogosa, and Sharpe), ce qui incluait les lactobacilles et la levure. Par la suite, il y a eu une augmentation marquée de la croissance dans le milieu de Sabouraud qui indiquait la présence de levures. À partir du quatrième jour, la croissance dans le milieu YGC (gélose glucosée au chloramphénicol) avait augmenté, ce qui est lié à l'augmentation dans les bactéries acétiques, maintenant cette croissance jusqu'à la fin de la fermentation.

Isolation et caractérisation des levures

Durant le processus de fermentation du cacao, 26 levures ont été isolées à partir du cultivar Chuncho « Cáscara de huevo », identifiant la présence de *Saccharomyces cerevisiae*, *Kloeckera apiculata* (anamorphe ou *Hanseniaspora uvarum*) et *Candida* sp. La levure *S. cerevisiae* domine l'évolution de la fermentation ; par conséquent, elle peut être constatée à travers un échantillonnage, elle a une croissance rapide à un pH légèrement élevé et peut tolérer de fortes concentrations d'éthanol et des températures élevées.

7. CONCLUSIONS

La prévention et la réduction du Cd dans les systèmes de production nécessite une approche globale pour comprendre les facteurs du sol qui mènent à une forte absorption de Cd par les cultures de cacao, afin de définir des stratégies pour éviter sa bioaccumulation. Les éléments disponibles ou extractibles

sont ceux qui peuvent participer aux réactions chimiques ou biologiques. Les racines des plantes de cacao peuvent absorber les ions uniquement lorsqu'ils sont disponibles dans la solution du sol.

En 1999, McLaughlin, M. and Singh B. R. prévoient que la prévention et la réduction du Cd dans les systèmes de production nécessite une approche globale pour comprendre les facteurs du sol qui mènent à une forte absorption de Cd par les cultures de cacao, afin de définir des stratégies pour éviter sa bioaccumulation. Les éléments disponibles ou extractibles sont ceux qui peuvent participer aux réactions chimiques ou biologiques. Les racines des plantes de cacao peuvent absorber les ions uniquement lorsqu'ils sont disponibles dans la solution du sol. De plus, la disponibilité du Cd dans le sol pour les cultures alimentaires dépend des processus physiques, chimiques et biologiques qui contrôlent la solubilité et la forme du Cd dans la solution du sol, particulièrement dans la rhizosphère. Les facteurs non biotiques importants sont les suivants : pH, teneur en argile, carbonates, oxydes de fer et de manganèse, potentiel d'oxydoréduction, type et teneur en matières organiques, ligands complexants et teneur en eau, ainsi que les pratiques de gestion des sols, y compris la rotation des cultures et les amendements de sol tels que les engrais phosphatés, fumiers, boues d'épuration et la chaux agricole. Les facteurs biotiques importants connus sont les suivants : espèces de plantes, mécanismes culturaux d'absorption du Cd par les plantes, cultivars, activité racinaire, modèles d'enracinement et microorganismes avec une association racinaire avec la rhizosphère (tels que les champignons mycorhiziens). Tous ces facteurs interagissent pour influencer la disponibilité du Cd pour les plantes ; des recherches complémentaires sont nécessaires sur les mécanisme d'absorption par les racines, la translocation, la retranslocation et le dépôt de Cd dans les plantes. Enfin, et non des moindres, les facteurs contrôlant la biodisponibilité du Cd à partir des aliments à base de plantes et les interactions de divers constituants alimentaires et de l'état nutritionnel individuel sur la biodisponibilité du Cd à partir de ces aliments, doivent faire l'objet d'études plus détaillées avant qu'une compréhension complète de l'incidence des niveaux de Cd dans les aliments à base de plantes sur la santé et le bien-être humains, puisse être déterminée avec certitude.

8. RECOMMANDATIONS

Plusieurs des études citées dans le Code d'usages ont été validées, bien que certaines d'entre elles obtiennent leurs résultats cette année. L'Équateur a diverses études qui sont achevées et qui seront incluses dans ce Code d'usages dans les plus brefs délais. Le GTE reconnaît que le Code d'usages proposé avec les modifications nécessaires sur les mécanismes d'absorption par les racines et le dépôt de Cd sur les fèves de cacao, pourrait accomplir cet objectif.

9. REMERCIEMENTS

Le GTE présidé par SENASA - Pérou Eng. Javier Aguilar Zapata et co-présidé par le Ghana et l'Équateur, souhaite remercier vivement la Food and Drug Administration des États-Unis, l'Association européenne pour le cacao, le Ministerio de Economia, Industria y Comercio de Costa Rica, l'Agence réglementaire de la santé brésilienne, l'Agencia de Regulacion y Control Fito y Zoonosanitario de Ecuador, le Ministry of Health Malaysia Food Safety and Quality Division and to the Ministerio de Agricultura y Riego de Peru pour leurs observations précieuses pour l'élaboration du projet de « Développement d'un Code d'usages pour la prévention et la réduction de la contamination du cadmium dans les fèves de cacao ».

RÉFÉRENCES

- Alloway, B.J. 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic and Professional, London, UK.
- Ardiles, M. 2012. "Prospección de cadmio y plomo en tres cultivares de cacao en suelos del valle de Kumpirushiato, Echarati" La Convención. Cusco. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo Tropical. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Ciencias Agrarias Tropicales. Carrera Profesional: Agronomía Tropical.
- Barraza, F., Moore, R., Rehkamper, M., Schreck, E., Lefeuvre, G., Kreissig, K., Coles, B., and Maurice, L. 2019. Cadmium isotope fractionation in the soil –cacao systems of Ecuador: a pilot field study. The Royal Society of Chemistry. Adv. 2019. 9. 34011-34022
- Bravo, D., S. Pardo Diaz, J. Benavides Erazo, G. Rengifo Estrada, O. Braissant, C. Leon Moreno. 2018. Cadmium and cadmium- tolerant soil bacteria in cacao crops from northeastern Colombia. Appl. Microbio. 124:1175-1194.
- Brown, S., R.L. Chaney et J.S. Angle. 1997. Subsurface liming and metal movement in soils amended with lime-stabilized biosolids. J. Environ. Qual. 26:724-732.
- CAOBISCO/ECA/FCC.2015. Cocoa Beans: Chocolate and Cocoa Industry Quality Requirements. Septiembre 2015 (End, M.J et Dand, R., Editors).
- CAC/GL 50-2004. General Guidelines on Sampling
- CAC/GL 69-2008. Guideline for the Validation of Food Safety Control Measures CAC/RCP1. Principes généraux d'hygiène alimentaire
- CAC / RCP 49-2001. Code d'usages concernant les mesures prises à la source pour réduire la contamination chimique des aliments.
- CAC/RCP 72-2013 Code d'usages pour la prévention et la réduction de la contamination du cacao par l'ochratoxine A.
- Cargua, J. 2010. Determinación de las formas de Cu, Cd, Ni, Pb y Zn y su Biodisponibilidad en Suelos Agrícolas del Litoral Ecuatoriano. Tesis de grado Ingeniera Agropecuaria. Universidad Tecnológica Equinoccial. Santo Domingo – Équateur. 1-109 págs.
- Cargua, J., Mite, F., Carrillo, M. et Durango W. 2010. Determinación de las formas de Cu, Cd, Ni, Pb, y Zn y su biodisponibilidad en suelos agrícolas del litoral ecuatoriano. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, 17-19 novembre 2010.
- Carrillo, M., Alves R., Matos A., F. Fontes, M. 2010. Efeito de diferentes condicionadores na mobilidade de cádmio em dois latossolos brasileiros. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo. Minas Gerais. 31 julho -5 agosto 2010.
- CCME 1999. Canadian Council Minister Environmental. Recommended soil quality guidelines, March 1997, 1999. <http://www.ccme.ca/ccme/index.html>
- CODEX STAN 228/2001. Métodos de Análisis generales para los contaminantes.
- Comité du Codex sur l'étiquetage des aliments (GL 32-1999): « Directives pour la production, la transformation, l'étiquetage et la commercialisation d'aliments produits selon des procédés biologiques ».
- Condori, D. 2018. M.Sc. Informe de Estudio : "Cadmio en el cultivo del cacao". Fábrica de Chocolates La Ibérica. Octubre 2018. Pérou
- Chaney, R.L y Baklanov. 2017. Phytoremediation and Phytomining: Status and Promise. Adv. Botan. Res. 83:189-221.
- Chaney, R.L., C.E. Green, H. Ajwa et R. Smith. 2009. Zinc fertilization plus liming to reduce cadmium uptake by Romaine lettuce on Cd-mineralized Lockwood soil. Proc. Int. Plant Nutrition Colloquium XVI (Aug. 25-28, 2009, Sacramento, CA): Paper 1252. (<http://repositories.cdlib.org/ipnc/xvi/1252>)
- Chicón, L. 2006. Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos. Investigación Programa Doctorado en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Málaga.
- Chupillon-Cubas J, Arévalo-Hernández, C; Arévalo-Gardini, E; Farfán-Pinedo, A; Baligar V3. 2017. Acumulación de cadmio en seis genotipos de cacao utilizados como patrón. International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Pérou, du 13 au 17 novembre 2017

- Dávila, C. 2018a. Paquete tecnológico para disminuir el contenido de cadmio en los granos de cacao. Área de Proyectos. Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga. Castillo Grande, Tingo María, Perú. Octubre 2018.
- Dávila, C. 2018b. Cadmio en el cultivo de Cacao. Diagnóstico y Desarrollo de Tecnologías para enfrentar esta amenaza. Área de Proyectos. Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga. Castillo Grande, Tingo María, Perú.
- Dávila, C. 2018c. “Efecto del compost y la gallinaza en las propiedades fisicoquímicas del suelo y en contenido de cadmio de los granos secos del cacao (*Theobroma cacao* L), CV. CCN-51”. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Agronomía. Departamento Académico de Ciencias Agrarias. Tingo María, Huánuco. Pérou.
- EFSA. 2009. Avis du groupe scientifique sur les contaminants de la chaîne alimentaire concernant le cadmium dans l'alimentation, donné à la demande de la Commission européenne. EFSA Journal 980, 1 – 139.
- Engbersen, N, Gramlich, A, Lopez, M., Schwarz, G, Hattendor, B, Gutierrez. O., Schulín, R. 2019. Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. Science of the Total Environment. Volume 678, 15 August 2019, Pages 660-670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.001>
- Falcón, G y Dávila C. 2019. “Efecto de la fermentación en el contenido de cadmio y polifenoles totales de los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon CCN-51. Tesis: Maestría en Ciencias Agrícolas. Mención cultivos tropicales. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Escuela de posgrado. Tingo María. Huánuco. Pérou.
- García, J. et García L. 2018. Selección genética con reducida acumulación de cadmio. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Huánuco.
- Garrett, R.G., A.R.D. Porter, P.A. Hunt et G.C. Lalor. 2008. The presence of anomalous trace element levels in present day Jamaican soils and the geochemistry of Late-Miocene or Pliocene phosphorites. Appl. Geochem. 23:822-834.
- Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., Lopez. M., Perla, D., Gonzalez, V., Schulín, R. 2018. Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. Science of the Total Environment, Volume 612, pages 370-378.
- Gramlich, A., Tandy, S., Andres, C., Chincheros Paniagua, J., Armengot. L., Schneider. M, Schulín, R. 2017. « Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management ». Science of the Total Environment, Volume 580, 15 February 2017, pages 677-686.
- Guo, G., Zhou, Q., and. Ma, L. Q “Availability and assessment of fixing additives for the in-situ remediation of heavy metal contaminated soils: a review,” Environmental Monitoring and Assessment, vol. 116, no. 1–3, pp. 513–528, 2006
- Gutiérrez E y León C. 2017. Investigación en Cadmio en Colombia: Cadena de Cacao. CORPOICA, FEDECACAO, MINAGRICULTURA. Taller Científico Internacional sobre Metales Pesados en Cacao, Lima- Julio 17 a 21 de 2017, organizado por el Ministerio de Agricultura y Riego de Perú y la Organización Internacional del Cacao (ICCO).
- Hazelton PA, Murphy BW 2007 Interpreting Soil Test Results: What Do All the Numbers Mean? CSIRO Publishing: Melbourne.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2017. Guía de manejo fitosanitario y de inocuidad en el cacaotal. Erika Soto, Patricia Mendoza, Carlos Leyva, y Juan Guerrero. – Lima, Pérou. IICA. 2017. 24 p.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA 2017b. Manual Técnico del Cultivo de Cacao. Buenas Prácticas para América Latina. Miguel Ángel Arvelo Sánchez, Diego González León, Steven Maroto Arce, Tanya Delgado López y Paola Montoya López. – San José, C.R.: IICA, 2017. 165 p.
- International Programme on Chemical Safety (IPCS). 2010. Environmental health criteria. EHC 135: Cadmium – environmental aspects.
- Jebara, S.H., Souhir Abdelkrim Ayed, Manel Chiboub, Imen Challougui Fatnassi, Omar Saadani, Ghassen Abid, Moez Jebara. 2019. Phytoremediation of Cadmium-Contaminated Soils by Using Legumes Inoculated by Efficient and Cadmium-Resistant Plant Growth-Promoting Bacteria in Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants from Physiology to Remediation. Academic Press. Chapitre 19, pages 479-493.

- John, D. and Leventhal, S. 1995. Bioavailability of metals. Preliminary compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral deposit Models. Edward A. du Bray, editor. U.S. Geological Survey Open-File Book 95-831. Pubs.usgs.gov/of/1995/ofr-95-0831
- KABATA-PENDIAS, A. et PENDIAS, H. 2001. Trace elements in soils and plants. 3^e éd. : Florida. CRC Press, 413 p.
- Lewis, C., A.M. Lennon, G. Eudoxie et P. Umaharan. 2018. Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in *Theobroma cacao* L. *Sci. Total Environ.* 640-641.
- Liu, J. et N.V. Hue. 2001. Amending subsoil acidity by surface applications of gypsum, lime, and composts. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 2117-2132.
- Marie Zug, K, Huamaní Yupanqui Hugo, Julia Susanne Frank Meyberg et Cierjacks Arne Cierjacks. 2019. Pollution de l'eau, de l'air et du sol. Accumulation de cadmium dans le cacao péruvien (*Theobroma cacao* L.) et possibilités d'atténuation. *An International Journal of Environmental Pollution*. March 2019, 230:72.
- McLaughlin, M. and Singh, B.R. 1999. Cadmium in Soils and Plants. Developments in Plant and Soil Sciences. Editors. Springer Science+Business Media, B.V. 1st Edition 1999
- McLaughlin Mike. 2016. Heavy metals in agriculture with a focus on Cd. Ecuador Soil Congress. CSIRO Land and Water Fertilizer Technology Research Centre, Waite Research Institute, University of Adelaide.
- Micó Llopis, C. (2005). Estudios de metales pesados en suelos agrícolas con cultivos hortícolas de la provincia de Alicante. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia.
- MINAGRI – IICA. 2018. Pérou. Foro "Factores Asociados a la Bioacumulación de Cadmio en Cacao y sus Estrategias de Mitigación". Ministerio de Agricultura y Riego e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Lima, Pérou – 22 et 23 novembre 2018.
- Ministerio del Ambiente Peru. 2017. Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo. Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM
- Ministerio del Ambiente. Pérou. 2008. Estándares Nacionales de calidad para agua. D.S. N°002-08-MINAM
- O'Dowd Colin D and de Leeuw Gerrit. 2007 Marine aerosol production: a review of the current knowledge. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. <http://doi.org/10.1098/rsta.2007.2043>
- Peris Mendoza, M. 2006. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Tesis doctoral, Universitat de Valencia Servei de Publicacions
- Ramtahal Gideon, Pathmanathan Umaharan, Anand Hanuman, Carisa Davis and Leon Ali 2019. The effectiveness of soil amendments, biochar and lime, in mitigating cadmium bioaccumulation in *Theobroma cacao* L. *Science of the Total Environment* Volume 693, 25 November 2019, 133563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.369>
- Ramtahal Gideon, Chang Yen Ivan, Alisha Hamid, Isaac Bekele, Frances Bekele, Kamaldeo Maharaj & Lisa Harrynaran (2018). The Effect of Liming on the Availability of Cadmium in Soils and Its Uptake in Cacao (*Theobroma Cacao* L.) In Trinidad & Tobago. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, DOI: 10.1080/00103624.2018.1510955
- Code d'usages international recommandé. Principes généraux d'hygiène alimentaire (CAC/RCP 1- 1969), Annexe HACCP, toutefois modifiés pour être appliqués à toutes les mesures de contrôle, qu'un système HACCP soit employé ou non.
- Resolución Ministerial. Ministerio de Agricultura y Riego. Pérou. 2018. R.M. N° 0451-2018-MINAGRI del 15 de noviembre de 2018 aprueba "Lineamientos de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en suelos, hojas granos y productos derivados de cacao". Publicada en el Portal Institucional del Ministerio de Agricultura y Riego. <http://minagri.gob.pe/portal/resoluciones-ministeriales/rm-2018?start=65>
- Revoredo A. y J. Hurtado. 2018. Efecto del tratamiento con 3 cepas de streptomycetos en la acumulación de cadmio en plantas de *Theobroma cacao*. *Proceedings of the International Symposium on Cocoa Research 2017*. ICCO International Cocoa Organization. Recuperado de: <https://www.icco.org/about-us/icconews/388-proceedings-of-the-international-symposium-on-cocoa-research-2017.html>
- Rodríguez Albarracín Heidy Soledad, Aquiles Enrique Darghan Contreras, Martha Cecilia Henao. 2019 Spatial regression modeling of soils with high cadmium content in a cocoa producing area of Central Colombia. *Geoderma Regional* Volume 16, March 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00214>

Rojas, R., Rodríguez, C., Ruiz, C., Portales, R., Neyra, E., Patel K., Mogrovejo J., Salazar G., Hurtado, Jasmín. 2017. Cacao Chuncho del Cusco. Universidad Peruana Cayetano Heredia, 2017. 1a Ed. diciembre 2017. Lima, Pérou

Rueda, G., Rodríguez, J. y Madriñán, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. Acta Agronómica, Vol. 60, Núm. 3 (2011).

Sarabia, R. 2002. Toxicidad y acumulación de Cadmio en poblaciones de diferentes especies de artemia. Facultad de Ciencias Biológicas. Tesis de Doctorado. Universidad de Valencia, Burjassot Valencia, págs. 1 - 125

Schneider, L. 2016. Effects of liming on cadmium availability in soils and uptake by cocoa. Master thesis. ETH Zürich. Swiss Federal Institute of Technology. Zurich. Department of Environmental Systems Science (D-USYS). Institute of Terrestrial Ecosystems (ITES). Soil Protection Group.

SENESCYT 2011. Secretaria de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación. Informe Técnico Final del Proyecto – PIC-12-INIAP-018: “Recuperación de suelos contaminados por la presencia de cadmio en las áreas más contaminadas de las provincias de Manabi, Santa Elena y El Oro”.

SMIARC *Technoguide* 2014. Cacao Production Brochure 1. Mai 2014. XI-Southern Mindanao Integrated Agricultural Research Center. Department of Agriculture RFU.

Smolders, E. 2001. Cadmium Uptake by Plants. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, Vol. 14, No. 2, 177—183, 2001

Smolders, E. 2017. Scientific aspects underlying the regulatory framework in the area of fertilisers – state of play and future reforms. IP/A/IMCO/2016-19 - PE 595.354. Union européenne

Tan, K.H., J.H. Edwards, et O.L. Bennett. 1985. Effect of sewage sludge on mobilization of surface-applied calcium in a Greenville soil. Soil Sci. 139:262-269.

Tang, J., Zhang, L., Zhang, J., Ren, L., Zhon, Y., Zheng, Y., Luo, L., Yang, Y., Huang, H., and Chen, A. 2020. Physicochemical features, metal availability and enzyme activity in heavy metal-polluted soil remediated by biochar and compost. Science of the Total Environment. Volume 701, 20 January 2020, 134751. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134751>.

Tester, C.F. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:827-831.

Torres, O. 2016. Efecto de diferentes niveles de nitrógeno en el cultivo de cacao. Anteproyecto de práctica profesional supervisada presentada a la Universidad Nacional de Agricultura como requisito previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo. Catacamas. Olancho. Honduras

Trakal, L., M. Neuberg, P. Tlustos, J. Száková, V. Tejnecký, and O. Drábek. 2011. Dolomite limestone application as a chemical immobilization of metal-contaminated soil. Plant, Soil and Environment 57:173-179.

Vliet, van J.A. et Giller, K.E. 2017. Mineral Nutrition of Cocoa: A Review. Advances in Agronomy, Vol.141, p. 185-270. ISSN 0065-213.

APPENDICE III**LISTE DES PARTICIPANTS**

Présidence

Eng. Javier Neptali Aguilar Zapata
 Specialist Agrifood Safety - Agrifood Safety Subdirectorate
 Directorate of Agricultural Inputs & Agrifood Safety
 National Agrarian Health Service – SENASA Peru
 Ministry of Agriculture and Irrigation
 La Molina Av. 1915. Lima 12 Perú
 Téléphone (511) 313-3300 Poste 2163
 E-mail : jaguilar@senasa.gob.pe

Brésil

Ligia Lindner Schreiner
 ANVISA - Brazilian Health Regulatory Agency

Costa Rica

Amanda Lasso Cruz
 Codex Secretariat
 Ministerio de Economía Industria y Comercio

Cuba

Roberto Dair García de la Rosa
 Public Health Ministry

Équateur

Ana Gabriela Escobar
 AGROCALIDAD

Union européenne

Ms Veerle VANHEUSDEN, Commission
 européenne,
 Point de contact du Codex européen : sante-
 codex@ec.europa.eu.

Maria GIAPRAKIS
 Point de contact du Codex européen
 Commission européenne
 DG Santé et sécurité alimentaire
 Unit D2 – Multilateral International Relations

Malaisie

Rabia' Atuladabiah Hashim
 Ministry of Health Malaysia. Food Safety and
 Quality Division

Nicaragua

Miriam Canda Toledo
 Ministerio de Fomento, Industria y Comercio

Pérou

Juan Carlos Huiza Trujillo
 Codex Contact Point
 DIGESA (Dirección General de Salud
 Ambiental) – Ministerio de Salud

Carmen Rosa Chávez Hurtado
 Specialist General Agricultural Directorate
 Ministry of Agriculture and Irrigation

Juan Guerrero Barrantes
 Senior Lecturer
 Specialist in Soils and Environment
 National Agrarian University La Molina

Cesar Dávila Zamora
 Researcher of heavy metals in tropical crops
 Cacao Alto Huallaga Agroindustrial
 Cooperative

Braulio La Torre Martínez
 Senior Lecturer
 Academic Soil Department
 National Agrarian University La Molina

Suisse

Mrs. Lucia Klauser
Scientific Officer
Federal Food Safety and Veterinary Office
FSVO

Martin Müller
Swiss Codex Contact Point
Federal Department of Home Affairs FDHA
Federal Food Safety and Veterinary Office
FSVO
International Affairs

États-Unis d'Amérique

Henry Kim
US FDA

Lauren Posnick Robin
US FDA

Eileen Abt
Expert
US FDA

Association européenne pour le cacao

Julia Manetsberger
Observer
European Cocoa Association