

Résumé

Durant les six mois de récolte, la pollution de l'eau générée par l'agro-industrie caféière est de 42 000 tonnes de demande chimique en oxygène. Cette contamination est principalement organique, acide et constituée d'éléments dissous. Pour répondre à ce problème, le gouvernement mexicain a instauré un système de taxes à payer pour utiliser l'eau mais aussi pour obtenir le droit de rejeter ces eaux résiduaires. Un système de traitement des eaux a été installé dans un beneficio rural du bassin de Coatepec (Ver.). Le procédé se compose d'un bassin de sédimentation, d'un réacteur anaérobie pilote hybride (lits de boues et filtre anaérobie) et d'un système aérobie. L'investissement total est de US \$ 940/m³ de réacteur.

Abstract

Coffee processing by the wet method produces 42,000 tonnes of chemical oxygen demand during the 6 months of the coffee harvest. This water pollution is primarily organic, acid and consists of dissolved substances. In response to this problem, the Mexican government introduced a system of taxes on water use and payment for the right to discharge waste water. A waste water treatment system was installed in a rural beneficio in the Coatepec (Ver.) region. The system comprises a sedimentation tank, a pilot hybrid anaerobic reactor (sludge blanket and anaerobic filter) and an aerobic tank. The total investment is US\$ 940/m³ of reactor

Resumen

Durante los seis meses de cosecha, la contaminación del agua generada por la agroindustria cafetalera es de 42,000 toneladas de demanda química en oxígeno. Esta contaminación es principalmente orgánica, ácida y constituida de elementos disueltos. Para responder a este problema, el gobierno mexicano instauró un sistema de impuestos por pagar para utilizar el agua pero también para lograr el derecho de echar estas aguas residuales. Se instaló un sistema de tratamiento de las aguas en un beneficio rural de la Cuenca de Coatepec (Ver.). El proceso se compone de un tanque de sedimentación, de un reactor anaerobio piloto híbrido (lechos de lodos y filtro anaerobio) y de un sistema aerobio. La inversión total es de US \$ 940/m³ de reactor.

Tlapexcatl, unité pilote d'épuration des eaux résiduaires d'une usine à café au Mexique

I - Construction

Violle P.¹, Pommarès P.¹, Vivier D.¹, Castillo M.F.², Sallée B.³

¹ MAE/CIRAD, Mexique

² Consultant privé

³ CIRAD-CP, I.I.C.A. Apartado 01-78 San Salvador, El Salvador C.A.

Le Mexique, avec 5,5 millions de sacs produits par an, est le quatrième producteur mondial de café. Cette activité se développe dans douze États de la République et concerne plus de 160 000 producteurs. Tout le café du Mexique est traité par voie humide. Cette transformation du café est considérée comme une des agro-industries les plus polluantes. Sur la base de 40 l d'eau pour transformer un kg de café vert, ce sont 13,2 millions de m³ d'eaux polluées que rejettent les usines mexicaines en cinq mois de récolte.

Bailly *et al.* (1992) ont analysé cette pollution et les caractéristiques des polluants générés (organiques, acides et principalement dissous). Cette pollution pourrait être limitée par une utilisation plus rationnelle de l'eau afin de diminuer considérablement les volumes utilisés, puis éliminée par un traitement approprié. La station d'épuration pilote de Tlapexcatl constitue une alternative de traitement et une réponse à un ensemble de pressions législatives (lois environnementales) et politiques.

La pression des lois sur l'environnement

Le Mexique, depuis la signature du traité de libre échange nord-américain (Alena),

doit s'aligner sur les normes en vigueur chez son voisin du Nord ; auparavant, les lois sur l'environnement étaient très laxistes.

La loi générale de l'équilibre écologique et la protection de l'environnement

L'article 1^{er} (Anon., 1993) de cette loi, apparue sous la présidence de Miguel de la Madrid (1982-1988), se réfère tant à la préservation et à la restauration de l'équilibre écologique, qu'à la protection de l'environnement du territoire national et des zones sur lesquelles la nation exerce sa souveraineté et sa juridiction. Ces dispositions sont d'ordre public et d'intérêt social, ayant pour objectif d'établir, entre autres, les bases de la prévention et du contrôle de la pollution de l'air, de l'eau et du sol (article 1^{er}. VI).

La loi fédérale des droits en matière d'eau et ses taxes

Depuis 1989, cette loi (Anon., 1994) est actualisée et publiée chaque année, conformément aux modifications approuvées par le Congrès de l'Union. Le ministère de l'Agriculture et des ressources hydrauliques (SARH), à travers la Commission nationale de l'eau (CNA), se charge de son application.

■ Le *beneficio* Tlapexcatl en chiffres

Le *beneficio* Tlapexcatl a été construit en 1986 par un groupe de caféiculteurs minifundistes regroupés au sein de la Société de production rurale *Beneficio Tlapexcatl*, membre de la Roca (*Red de organización cafetaleras autogestivas*). Ce *beneficio*, situé à une altitude de 1 100 m, appartient à la municipalité de Cosautlán de Carvajal (Veracruz). Sa capacité installée est de 33 Qq/jour et il transforme en moyenne 400 t de café cerises (± 1600 Qq) par campagne. Son chiffre d'affaires fluctue entre 30 000 et 50 000 US \$.

Cette usine fonctionne 120 jours par an, avec 25 jours sans entrées, et un pic d'approvisionnement de deux semaines en janvier (5 à 10 t de cerises par jour). La transformation du café se fait par voie humide. L'eau est pompée dans un ruisseau où elle est rejetée après utilisation. La réception des cerises se fait dans un siphon ($V_{\text{siphon}} = 7 \text{ m}^3$). La transformation d'1 kg de cerises requiert de 5 à 18 l d'eau suivant l'opérateur et la quantité de café, soit une consommation totale de 2 000 à 3 000 m^3 par saison.

Deux mesures, apparemment contradictoires, ont été prises depuis 1990 :

- la promulgation d'un décret établissant les limites autorisées pour le rejet des eaux résiduaires issues des *beneficios*⁽¹⁾ de café ; les normes ont été sensiblement assouplies en 1993 (tableau 1) mais restent assez strictes. L'application de la loi a été confiée à la Profepa (*Procuraduría federal para la protección del medio ambiente*), sorte de tribunal fédéral qui inflige des amendes pouvant aller jusqu'à la fermeture des *beneficios* ;
- la mise en place de taxes sur l'approvisionnement en eau et le rejet des eaux résiduaires. Le bassin caféier de Coatepec, situé dans une des régions les plus pluvieuses du Mexique, bénéficie des tarifs d'approvisionnement les plus bas du pays. Les taxes sur les rejets, qui constituent en quelque sorte un droit à polluer, sont calculées en fonction du :
 - nombre de m^3 d'eaux résiduaires ;

(1) Unité de transformation, par voie humide, du café cerise en café parche sec.

(2) Un nouveau peso (NS) vaut, au change d'octobre 1994, 0,29 US \$ ou 1,55 FF.

(3) Au Mexique, un quintal (Qq) est égal à 100 livres de café vert, soit 45,4 kg ; cela correspond à environ 57,5 kg de café parche sec ou 250 kg de café cerises.



- la demande chimique en oxygène (DCO) par m^3 (en kg) ;
- la quantité de solides en suspension totaux (SST) par m^3 (en kg).

La contradiction entre ces deux mesures provient du fait que le paiement du « droit à polluer » n'empêche pas l'application de sanction de la Profepa, car cet organisme est totalement indépendant de la Commission nationale de l'eau (CNA), chargée de percevoir les taxes.

Les lois et la rentabilité des projets

Dans la pratique, en mai 1994, environ 20 % des *beneficios* de la région étaient inscrits à la CNA et seulement 2 % s'acquittaient de leurs obligations fiscales. Ce faible pourcentage s'explique par le fait que les autorités n'ont pas voulu augmenter la pression économique sur un secteur déjà en crise. L'actuelle hausse des prix du café devrait entraîner une application plus stricte des lois.

L'inégalité des industriels face à la loi

Les *beneficios* industriels savent qu'ils seront les premiers affectés par ces lois, et tentent donc de chercher des solutions pour traiter leurs effluents. D'un point de vue purement économique, il vaut mieux favoriser l'économie d'eau au niveau du traitement que traiter l'eau (figure 1). Si un *beneficio* ne consomme que 2 l d'eau par kg de cerises transformé (objectif qui semble raisonnable avec un système de recirculation), la taxe sur la consommation est égale à 0,57 NS⁽²⁾/quintal⁽³⁾ (Qq) et la taxe sur la décharge des eaux résiduaires à 1,21 NS/Qq. En outre, lorsqu'un *beneficio* consomme moins de 3 000 m^3 par mois, ce qui correspond à la quantité d'eau nécessaire à la transformation de 1 500 t de cerises utilisant 2 l/kg, ce *beneficio* peut opter pour le paiement d'un forfait beaucoup plus avantageux.

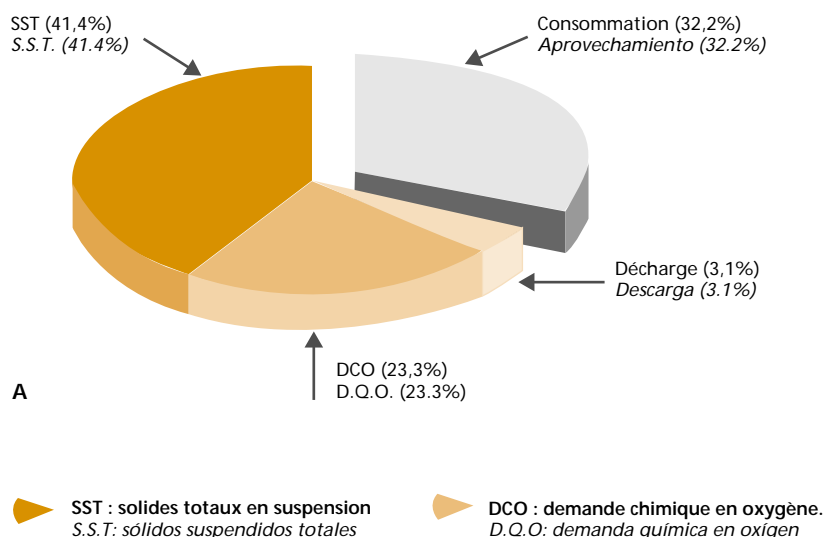
Pour les *beneficios* ruraux, les taxes restent faibles, quelle que soit la quantité d'eau consommée, et seule une plainte

Tableau 1. Norme officielle mexicaine NOM-CCA-027-ECOL/1993*. / Norma oficial mexicana NOM-CCA-027-ECOL/1993*.

Paramètres / <i>Parametros</i>	Maxima autorisés / <i>Máximo autorizados</i>			
	Moyenne journalière / <i>Promedio diario</i>		Instantanée / <i>Instantáneo</i>	
	1990	1993	1990	1993
pH (unités pH) / <i>pH (unidades pH)</i>	6 à 9	6 à 9	6 à 9	6 à 9
Demande chimique en oxygène (mg/l) <i>Demanda química en oxígeno (mg/l)</i>	60	150	120	180
Graisses et huiles (mg/l) <i>Grasas y aceites (mg/l)</i>	10	10	20	20
Matières décantables (ml/l) <i>Materias decantables (ml/l)</i>	1,0	1,0	2,0	2,0
Matières en suspension (mg/l) <i>Materias en suspensión (mg/l)</i>	60	150	120	180
Matières flottantes (mg/l) <i>Materias flotantes (mg/l)</i>	absente / <i>ausente</i>	absente / <i>ausente</i>	absente / <i>ausente</i>	absente / <i>ausente</i>

*Limites maximales autorisées de contaminants dans les corps récepteurs d'eaux résiduaires, issus de l'industrie caféière. / **Limites máximas autorizados de contaminantes en los cuerpos receptores de aguas residuales, provenientes de la industria cafetalera.*

Montant total de la taxe au 01/01/94 : 1,79 N\$
Monto total de la cuota al 01/01/94: N\$ 1.79



Montant total de la taxe au 01/01/94 : 3,59 N\$
Monto total de la cuota al 01/01/94: N\$ 3.59

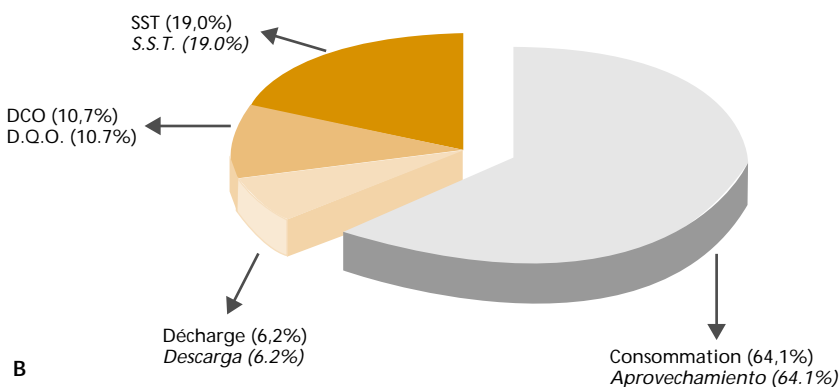


Figure 1. Distribution de la taxe à payer à la Commission nationale de l'eau pour une consommation de 2 (A) et 8 (B) m³ d'eau par tonne de cerises. / *Reparto del impuesto por pagar a la Comisión nacional del agua para un consumo de 2 (A) y 8 (B) m³ de agua por tonelada de cerezas.*

des communautés villageoises situées en aval peut justifier un tel investissement.

Particularités des *beneficios* ruraux

Qu'ils soient ruraux ou industriels (capacité journalière inférieure à 90 Qq ou supérieure à 240 Qq), tous les *beneficios* se heurtent aux mêmes problèmes : des investissements non productifs, une augmentation du coût de production, une conception du procédé incompatible avec les économies d'eau, et le manque d'espace pour installer de nouveaux équipements.

Contraintes et mode de fonctionnement des *beneficios* coopératifs de type Tlapexcatl

Ces petits ateliers de transformation ont pour caractéristiques :

- une capacité de production journalière inférieure à 90 Qq ;
- un fonctionnement de type coopératif qui peut manquer de souplesse ;
- un très faible niveau d'éducation des associés ;
- une capacité d'autofinancement quasi nulle, surtout depuis la chute des prix en 1989 ;
- des volumes d'eaux usées réduits ;
- une technologie rudimentaire, parfois incomplète.

Cet ensemble d'éléments rend difficile la mise en place de projets pilotes dans les *beneficios*. Les grands spécialistes de l'épuration des eaux usées ne sont pas intéressés par des entreprises de faible crédibilité financière, qui n'ont besoin que de petites unités d'épuration et qui présentent des problèmes d'entretien et de suivi spécifiques.



Photo 1. Le bassin de stockage ($V = 36 \text{ m}^3$). El tanque de almacenamiento ($V = 36 \text{ m}^3$).

B. Sallée

Une capacité de financement réduite

Lorsqu'il est déjà difficile pour ces *beneficios* coopératifs d'autofinancer des investissements productifs, il semble impossible d'exiger de leur part qu'ils financent des équipements non directement productifs.

Trois sources de financement extérieures sont disponibles pour développer ce type de projet :

- le système bancaire : par l'intermédiaire de financements obtenus aux niveaux national et international, les banques de deuxième niveau peuvent appuyer certains projets pour équiper l'industrie en systèmes de dépollution. Ce type de financement peut seulement fonctionner pour des *beneficios* coopératifs déjà économiquement stables. Mais la situation de crise mondiale du café n'incite pas les banquiers à investir dans la caféiculture ;
- les aides gouvernementales. Au Mexique, il existe plusieurs institutions d'Etat, comme la SARH par exemple, qui soutiennent les projets du secteur agricole. Ces aides sont très attractives car, dans la majorité des cas, à fonds perdus ou sans intérêts. Néanmoins, bien que le budget consacré à l'environnement soit à la hausse (pression du traité Alena), il demeure insuffisant pour satisfaire toutes les demandes ;

- les voies alternatives. Il s'agit, en particulier, d'investissements à fonds perdus réalisés par des organisations non gouvernementales qui disposent de financements propres, ou qui gèrent des fonds provenant d'institutions internationales.

Le financement de Tlapexcatl vient de quatre sources :

- la SARH, par l'intermédiaire d'un programme de transfert d'équipement de l'INMECAFE⁽⁴⁾, a assuré les coûts de construction (génie civil et équipement) ;
- le CIRAD⁽⁵⁾ et la Coopération française (ministère des Affaires étrangères), les coûts d'ingénierie et de suivi ;
- les producteurs de café, les coûts de main-d'oeuvre.

La vogue actuelle, en faveur de l'écologie, a permis l'obtention de plusieurs sources de financements à fonds perdus. Cependant, ce type de montage financier, issu de sources multiples, ayant souvent des intérêts divergents, diminue la souplesse et la synergie que requiert ce type de projet.

Exigences techniques

L'intégration d'un système d'épuration dans un *beneficio* de café nécessite le respect de certaines normes. L'équipement doit être simple, résistant et de fabrication locale : un problème mineur peut facilement se traduire par un arrêt temporaire, voire définitif, du système. Pour cela, il convient de limiter au maximum les risques d'avarie et de construire

avec des matériaux et des pièces localement disponibles.

Par ailleurs, le système d'épuration doit être simple d'utilisation. Il est en effet économiquement impossible d'employer un technicien à temps complet pour son suivi. Un employé du *beneficio* doit être capable d'entretenir et de suivre quotidiennement le système.

Ces deux impératifs ne sont pas synonymes de technologie obsolète ou inefficace. Au contraire, obtenir des rendements d'épuration élevés avec un système simple nécessite l'usage de technologies modernes que l'on domine parfaitement.

Construction de l'unité d'épuration pilote Tlapexcatl

Description du système de traitement des eaux

Le système de décontamination fonctionne selon trois procédés (figure 2) :

- traitement physico-chimique avec le bassin de sédimentation ;
- traitement biologique anaérobie avec le digesteur ;
- traitement biologique aérobie avec le système d'aspersion ;

Le système de décontamination comporte les éléments qui suivent.

Le bassin de stockage ($V = 36 \text{ m}^3$) composé de deux parties. Les éléments solides les plus denses sédimentent dans la première, plus profonde de 50 cm (photo 1). Ce bassin sert de réserve pour stocker les volumes instantanés élevés, et possède aussi une importance biologique. Dans la seconde, le réservoir de régulation ($V = 0,25 \text{ m}^3$) maintient un dénivelé d'eau constant grâce à un système de flotteurs (photo 2). Toute la circulation d'eau se fait par gravité.

Le système de chauffage ($V = 0,040 \text{ m}^3$), constitué d'un chauffe-eau domestique à thermostat, alimenté au butane en début de campagne puis ensuite au biogaz (photo 3), chauffe l'influent de 16-18 °C à 23-25 °C pour favoriser une bonne activité bactérienne.

Le digesteur anaérobie ($V_{\text{total}} = 13 \text{ m}^3$, $V_{\text{utile}} = 10 \text{ m}^3$). C'est un digesteur hybride (photo 4), composé de deux parties séparées par une paroi perforée : un lit de boues type UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) dans la partie inférieure, et un système de filtre anaérobie dans la partie supérieure (1/3 du volume total soit 4 m³) constitué de pierres vol-

(4) Ex-Institut mexicain du café, disparu en 1993.

(5) Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

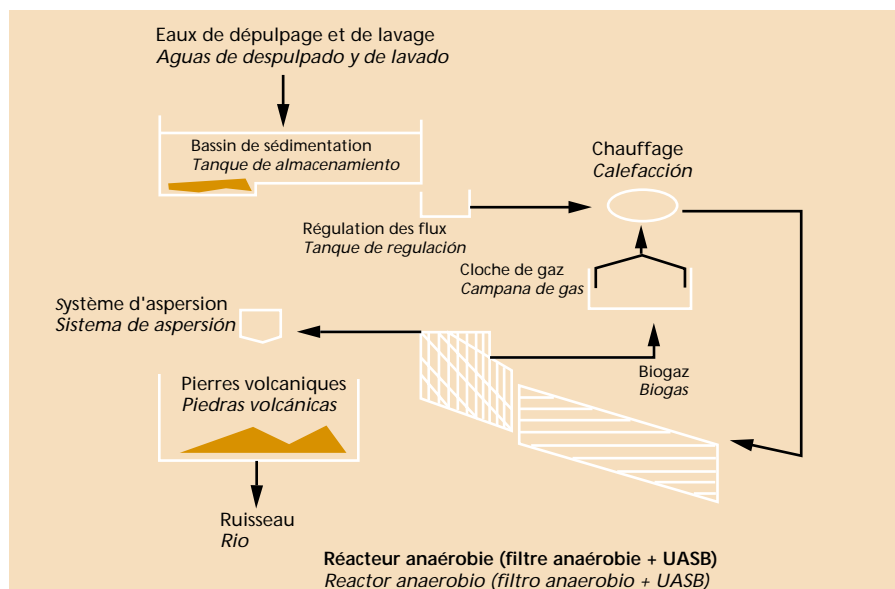


Figure 2. Système de traitement des eaux résiduaires provenant de l'industrie d'un *beneficio* de café. Ce système est conçu pour traiter la totalité ($20 \text{ m}^3/\text{jour}$) des eaux résiduaires (dépulpage et lavage) d'un *beneficio* remodelé pour économiser l'eau. Aujourd'hui, la charge organique moyenne est de $3 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{jour}$, le temps de rétention hydraulique du système est de six jours et le rendement d'épuration atteint 95 %. / Sistema de tratamiento de las aguas residuales proveniente de la industria de un *beneficio* de café. Este sistema está concebido para tratar la totalidad ($20 \text{ m}^3/\text{día}$) de las aguas residuales (despulpado y lavado) de un *beneficio* remodelado para ahorrar agua. Hoy día, la carga orgánica media es de $3 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$, el tiempo de retención hidráulica del sistema es de seis días y el rendimiento de depuración alcanza el 95 %.

caniques. Ce filtre permet une meilleure digestion en retenant les solides en suspension. Le temps de rétention des solides (TRS) s'en trouve augmenté. Ce réacteur a été construit localement, en fibre de verre. Il est enterré et isolé par une couche de polystyrène. Treize tubes d'échantillonnage permettent de suivre les phénomènes biologiques à l'intérieur du réacteur, tout au long du traitement. Il est incliné à 20° suivant la pente du terrain pour diminuer les coûts, améliorer le mélange et augmenter le contact bactéries-matière organique.

La cloche à gaz ($V = 7 \text{ m}^3$, en basse pression). C'est un cylindre d'acier, hermétiquement fermé d'un côté, qui se déplace dans un réservoir d'eau au fur et à mesure qu'il se remplit de biogaz. Il est connecté au chauffe-eau.

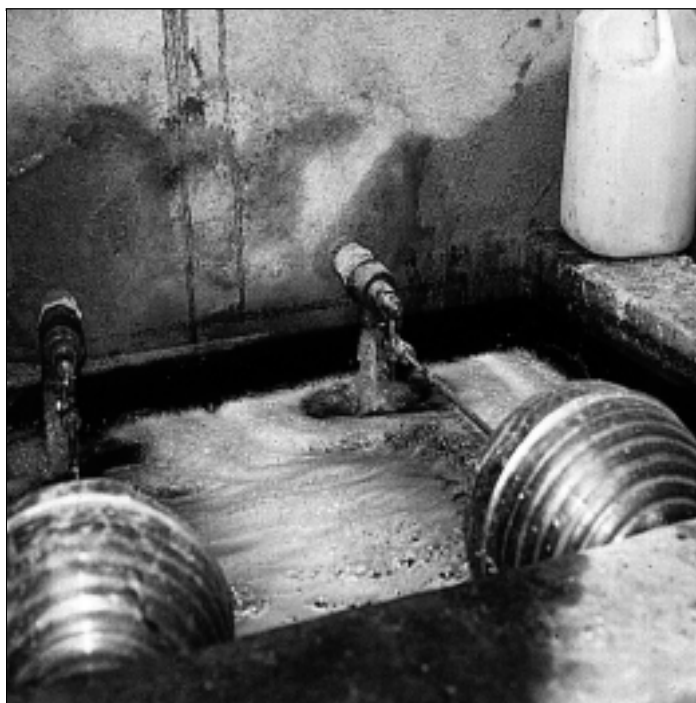
Le système aérobie ($S = 25 \text{ m}^3$). Il contient 6 m^3 de pierres volcaniques qui jouent le rôle de filtre aérobie. En sortant du réacteur, l'eau est stockée dans un réservoir de PVC ($V = 0,75 \text{ m}^3$). Une fois rempli, il se vidange automatiquement grâce à un système de siphon. L'eau tombe en pluie (pour se charger en O_2) et ruisselle sur le tas de pierres sur lequel se développe une couche de micro-organismes aérobies qui va digérer une partie de la DCO restante avant le retour de l'eau au ruisseau.

Avec ce dernier traitement, le rendement d'épuration du système devrait atteindre 95 %.

Mise en service du pilote

Comme tous les processus biologiques, le procédé de traitement anaérobie des eaux usées requiert une période d'adaptation

Photo 2. Le réservoir de régulation ($V = 0,25 \text{ m}^3$). El depósito de regulación ($V = 0,25 \text{ m}^3$).



B. Sallée

pour atteindre sa capacité maximale : les bactéries de l'*inoculum* doivent s'adapter au milieu et se multiplier. Il est donc important de disposer d'un bon *inoculum*. L'idéal serait d'utiliser des bactéries issues d'un réacteur similaire. D'une façon générale, un bon *inoculum* doit avoir une activité méthanogénique la plus élevée possible, et une bonne sédimentabilité pour éviter le lavage (Wasser *et al.*, 1991).

Pour ce type de digesteur, les boues issues de fosses septiques sont les plus adaptées, pour leur bonne sédimentabilité (très important pour un réacteur type UASB). Ainsi, le digesteur Tlapexcatl a été inoculé avec 8 m^3 de boues provenant d'une station d'épuration urbaine, type «fosse septique», de Xalapa.

Le coût du système Tlapexcatl

Le coût d'investissement s'élève à $940 \text{ US } \$/\text{m}^3$ de volume de digesteur, dont un tiers environ correspond au réacteur (tableau 2). Ces chiffres sont donnés à titre illustratif car il est difficile d'extrapoler à partir d'une situation semi-expérimentale. On remarque cependant que le coût rapporté au m^3 de réacteur est élevé et incompatible avec les quantités d'eau résiduaires issues des procédés de traitement actuels. A titre d'exemple, un *beneficio* industriel traitant $5\,000 \text{ t}$ de cerises par campagne, avec des pointes de $125 \text{ t}/\text{jour}$, dans les conditions actuelles (environ 8 l d'eau par kg de cerises), devrait s'équiper d'un réacteur de



B. Sallée

Photo 3. Le système de chauffage ($V = 0,040 \text{ m}^3$).
El sistema de calefacción ($V = 0.040 \text{ m}^3$).



Photo 4. Le digesteur anaérobie ($V_{\text{Total}} = 13 \text{ m}^3$, $V_{\text{Util}} = 10 \text{ m}^3$).
El digester anaerobio ($V_{\text{Total}} = 13 \text{ m}^3$, $V_{\text{Util}} = 10 \text{ m}^3$).

Tableau 2. Coût de construction* de l'unité pilote de traitement des eaux résiduaires du *beneficio* de café Tlapexcatl (en \$ US de 1992). / *Costo de construcción* de la planta de tratamiento piloto de las aguas residuales del beneficio de café Tlapexcatl (en US \$ de 1992).*

	Génie civil Ingeniería	Equipement Maquinaria	Coût total Costo total	Coût/m ³ ** Costo/m ³ **
Système physico-chimique / Sistema físico-químico				
bassin de sédimentation et stockage <i>tanque de sedimentación y almacenamiento</i>	2 900	0	2 900	223
Système anaérobie / Sistema anaerobio	1 873	6 721	8 594	661
réservoir de régulation / <i>tanque de regulación</i>	110	37	147	11
système de chauffage / <i>sistema de calefacción</i>	213	223	437	34
réacteur anaérobie / <i>reactor anaerobio</i>	483	3 478	3 962	305
puits de sédimentation/pozos de sedimentación	212	0	212	16
circuit du biogaz / <i>circuito del biogás</i>	688	1 490	2 178	168
plomberie et réseau / <i>fontanería y red</i>	167	1 492	1 658	128
Système aérobie / Sistema anaerobio	503	238	741	57
aspersion et réservoir/aspersión y tanque	503	238	741	57
Total de la construction / Total de la construcción	5 276	6 959	12 235	941

* : le coût total de l'unité comprend la construction, l'inoculation (400 \$) et le coût d'études/suivi (environ 20 % du total). / *El costo total incluye la construcción, la inoculación (400 \$) y el costo de estudios/seguimiento (aproximadamente el 20% del total).*

** : par m³ de volume total (13 m³). / *Por m³ de volumen total (13m³).*

Source : données propres. / *Fuente : datos propios.*

1 000 m³, soit un coût que l'on peut estimer à 500 000 US \$ avec des économies d'échelle.

Les options choisies

Le type de procédé : préférence aux systèmes anaérobies

Techniquement et économiquement, le système de traitement biologique est le plus adapté pour les eaux résiduaires du

café (Noyola, 1990). La voie anaérobie produit peu de boues (cellules), génère de l'énergie (méthane) et peut traiter une charge organique de 10 à 20 kg de DQO/m³jour, soit 10 fois plus que les systèmes aérobies. Par conséquent, la voie anaérobie peut être considérée comme plus efficace sur le plan énergétique.

La préférence des systèmes microbiologiques anaérobies fut déterminée par Bailly *et al.* (1992).

Le digesteur hybride UASB/filtre anaérobie

Ce digesteur est un réacteur anaérobie de seconde génération. Le progrès obtenu avec ce type de réacteur se manifeste par des temps de rétentions hydrauliques substantiellement faibles (0,5 à 3 jours), ce qui implique une réduction du volume du réacteur, et une meilleure stabilité et facilité d'opération.

La partie inférieure du digesteur se compose d'un lit de boues, dont le princi-

pal avantage est de ne nécessiter aucun type de support pour retenir la biomasse. Le principe de fonctionnement est basé sur la bonne sédimentabilité des flocules microbiens produits à l'intérieur du réacteur. De plus, ces amas présentent une activité méthanogénique très élevée. Le réacteur est de type flux ascendant (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), et sa forme (plus long que large) favorise un déplacement de l'eau de type piston. L'inclinaison à 20° devrait éviter les passages préférentiels.

La partie supérieure du digesteur se compose d'un filtre anaérobie constitué de pierres volcaniques. La biomasse anaérobie est maintenue, dans cette partie, grâce à la formation d'une pellicule de micro-organismes fixés sur le filtre. Le coefficient de vide est assez grand afin d'éviter le colmatage. Ce réacteur peut recevoir, théoriquement, des charges de 10 kg de DCO/m³.jour.

Construire avec des matériaux localement disponibles

Réduire le coût de construction a été le principal objectif (< 1000 US \$/m³ de réacteur). Ainsi, la circulation de l'eau se fait par gravité, profitant de la pente du terrain. De même, tous les bassins ont été construits avec des matériaux traditionnels (pierres, briques et ciment), excepté le digesteur fabriqué en fibre de verre et résine de polyester. Avec un nombre suffisant de digesteurs (>10 unités), un moule serait construit, ce qui diminuerait considérablement les délais et les coûts de construction.

Détermination de la taille de l'unité

Les divers éléments de l'unité doivent avoir la capacité suffisante pour recevoir les eaux de dépulpage et de lavage. Cependant, limiter la capacité du système réduit ses dimensions, le terrain nécessaire et, par conséquent, son coût.

Trois éléments déterminent la taille de l'unité :

- le temps de rétention hydraulique (TRH) : en diminuant le TRH, on peut réduire la taille globale du système et ici on pense atteindre un TRH de 24 heures ;
- la production d'eaux résiduaires par le *beneficio* : cette production est directement proportionnelle au volume d'entrées quotidiennes de café, qui fluctue durant la saison. Ces entrées présentent un pic qui dure, au plus,

deux semaines sur les quatre mois de récolte. Dans le *beneficio* de Tlapexcatl, l'unité n'a pas été dimensionnée sur les quantités du pic afin d'éviter un coût de fonctionnement prohibitif durant le reste de la récolte (90 % du temps) ;

- l'économie de l'eau : si l'on prend pour base de calcul une consommation en eau de 2 l/kg de cerises, objectif réaliste d'une politique d'économie de l'eau, et des entrées moyennes de 20 Qq/jour générant une pollution de 6 à 8 kg de DCO/Qq, il faudra épurer 10 m³ par jour, avec une charge moyenne de 12 kg de DCO/m³.

Il a été décidé de construire un digesteur anaérobie pilote de 10 m³ utiles, pour traiter la totalité des eaux résiduaires produites par le *beneficio* remodelé (pour consommer le quart de la consommation journalière moyenne actuelle), fonctionnant avec un temps de rétention d'un jour, suffisant pour traiter 3 kg de DCO/m³ de digesteur, avec une efficacité de 80 %. Le bassin de sédimentation et de stockage de 36 m³ régule le flux important d'eaux résiduaires lors du pic de production.

Un traitement aérobie de finition est prévu afin d'atteindre un rendement d'épuration total de 95%.

Pour une bonne conduite du système

La finalité de ce projet est que les employés manoeuvrent eux-mêmes le système. Cependant, comme il s'agit d'un système biologique assez sensible, même si le responsable du *beneficio* assume la gestion du système, le fonctionnement optimal du procédé ne sera possible qu'avec un suivi quotidien et précis de l'influent, afin de contrôler le pH et la charge pour ajuster le flux d'alimentation conformément à la capacité du réacteur. Dans le cas d'un développement à plus grande échelle, l'idéal serait qu'un laboratoire spécialisé suive plusieurs systèmes de ce type dans une même région.

Conclusion

L'unité pilote de traitement des eaux résiduaires du *beneficio* Tlapexcatl est une réponse au problème écologique de cette agro-industrie mais aussi de l'ensemble des contraintes et taxes qui lui sont imposées au Mexique et, en général, de plus en plus, dans les pays produc-

teurs de café. La solution technique choisie, centrée sur un traitement anaérobie, permet l'installation d'équipements compatibles avec les problèmes d'espace qu'affrontent la plupart des *beneficios*, avec des coûts d'investissement modestes, mais aussi apporte une certaine rentabilité grâce à la production d'énergie.

Pourtant, il semble réaliste de penser que la diffusion de ce procédé sera très lente et ne touchera que quelques *beneficios* industriels pour qui ce pilote est inadapté car sous-dimensionné. En effet, le traitement des eaux impose une redéfinition du procédé industriel de transformation du café et, malgré le fort courant d'opinion favorable à la préservation de l'environnement, l'ampleur des investissements nécessaires hypothèque la rentabilité de ce secteur.

Enfin, il faut noter que la tendance actuelle chez les constructeurs de *beneficios* américains est de résoudre le problème avec un usinage «à sec», malgré les conséquences négatives probables sur la qualité de la boisson. ■

Bibliographie / Bibliografía

- Anonyme, 1993. Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. Mexico, Mexique, Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, 220 p.
- Anonyme, 1994. Ley federal de derechos en materia de aguas. Mexico, Mexique, Comisión Nacional del Agua, 51 p.
- Bailly H., Sallée B., Garcia G.S. 1992. Proyecto de tratamiento de aguas residuales de beneficios húmedos. 1. Diagnóstico de la contaminación. *Café Cacao Thé* 36 (2) : 129-136.
- Noyola R.A., 1990. Los procesos anaerobios en el tratamiento de aguas residuales. In : I seminario internacional sobre biotecnología en la agroindustria cafetalera, Xalapa, Mexique, 12-15 avril 1989. Mexico, Mexique, Instituto Mexicano del Café/ORSTOM, p. 95-109.
- Wasser R., Orozco S.C., Cantarero P.V.R., Mesias R.O., 1991. Experiencias sobre el tratamiento anaerobio de las aguas residuales del café en Matagalpa, Nicaragua. Seminario taller sobre tratamiento de aguas residuales agroindustriales, Cali, Colombia, 9-13 décembre 1991, 13 p.

“Tlapexcatl”, planta piloto de tratamiento de las aguas residuales de un beneficio de café en México

I - Construcción

Violle P.¹, Pommarès P.¹, Vivier D.¹, Castillo M.F.², Sallée B.³

¹ MAE/CIRAD, México

² Consultor privado

³ CIRAD-CP, I.I.C.A. Apartado 01-78 San Salvador, El Salvador C.A.

México, con 5.5 millones de sacos producidos por año, es el cuarto productor de café. Esta actividad se desarrolla en doce Estados de la República y concierne más de 160.000 productores. Todo el café de México se trata por vía húmeda. Esta transformación del café se considera como una de las agroindustrias más contaminantes. En base a 40 l de agua para transformar un kg de café verde, son 13.2 millones de m³ de aguas contaminadas que los beneficios mexicanos echan durante los cinco meses de cosecha.

Bailly *et al.* (1992) analizaron esta contaminación y las características de los contaminantes producidos (orgánicos, ácidos y principalmente disueltos). Esta contaminación se podría limitar con un uso racional del agua en el proceso y eliminar en una planta de tratamiento. La unidad piloto de Tlapexcatl constituye una alternativa de tratamiento y una respuesta a un conjunto de presiones legislativas (leyes ambientales) y políticas.

La presión de las leyes sobre el medio ambiente

México, desde la firma del Tratado de Libre Comercio norteamericano (TLC, Alena en francés), debe alinearse sobre las normas vigentes en el país vecino del norte; antes, las leyes sobre el medio ambiente eran muy laxas.

La ley general del equilibrio ecológico y la protección al medio ambiente

El artículo 1º de esta ley (Anon., 1993), publicado durante la presidencia de Miguel De la Madrid (1982-1988), se refiere tanto a la preservación y a la restauración del equilibrio ecológico, como a la protección del medio ambiente del territorio nacional y de las zonas sobre las cuales la nación ejerce su soberanía y su jurisdicción. Estas disposiciones son de orden público y de interés social, teniendo como objetivo establecer, entre otras cosas, las bases de la prevención y del control de la contaminación del aire, del agua y del suelo (artículo 1º. VI).

La ley federal de derechos en materia de agua y sus impuestos

Desde 1989, esta ley (Anon., 1994) se actualiza y se publica cada año, conforme a las modificaciones aprobadas por el Congreso de la Unión. El Ministerio de Agricultura y de Recursos Hidráulicos (SARH), a través de la Comisión Nacional del Agua (CNA), se encarga de su cumplimiento.

Dos medidas, al parecer contradictorias, se tomaron desde 1990:

- la promulgación de un decreto estableciendo los límites permisibles para descargar las aguas residuales provenientes de los beneficios de café; las normas se moderaron notablemente en 1993 (cuadro 1) pero siguen siendo bastante estrictas. Se confió la aplicación de la ley a la Profepa (Procuraduría federal para la protección del medio ambiente), clase de tribunal federal que inflige multas pudiendo ir hasta el cierre de los beneficios;
- la implementación de impuestos sobre el abastecimiento de agua y la descarga de las aguas residuales. La cuenca cafetalera de Coatepec, ubicada en una de las regiones más lluviosas de México, beneficia de las tarifas de abastecimiento más bajas del país. Los impuestos sobre descargas, que constituyen por decirlo así un derecho a contaminar, se calculan respecto a:
 - cantidad de m³ de aguas residuales ;
 - la demanda química en oxígeno (DCO) por m³ (en kg) ;
 - la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) por m³ (en kg).

La contradicción entre estas dos medidas procede del hecho de que el pago del "derecho a contaminar" no impide la aplicación de sanción de la Profepa, puesto que este organismo está totalmente independiente de la Comisión Nacional del Agua (CNA), encargada de percibir los impuestos.

Las leyes y la rentabilidad de los proyectos

En la práctica, en mayo de 1994, aproximadamente el 20 % de los beneficios de la región estaban inscritos en la CNA y tan sólo el 2 % satisfacían sus obligaciones fiscales. Este bajo porcentaje se explica por el hecho de que las autoridades no quisieron aumentar la presión económica en un sector ya en

crisis. La presente alza de precios del café debería provocar una aplicación más estricta de las leyes.

La desigualdad de los beneficiadores frente a la ley

Los beneficios industriales saben que serán los primeros afectados por estas leyes, y intentan pues buscar soluciones para tratar sus efluentes. De un punto de vista meramente económico, más vale favorecer el ahorro de agua al nivel del tratamiento que tratar el agua (figura 1). Si un beneficio consumiera únicamente 2 l de agua por kg de cerezas transformado (objetivo que parece razonable con un sistema de recirculación), el impuesto sobre consumo es igual a 0,57 NS⁽¹⁾/quintal⁽²⁾ (Qq) y el impuesto sobre la descarga de las aguas residuales a 1,21 NS/Qq. Además, cuando un beneficio consume menos de 3.000 m³ por mes, lo que corresponde a la cantidad de agua necesaria a la transformación de 1.500 t de cerezas utilizando 2 l/kg, este beneficio puede optar por el pago de una cuota única mucho más ventajosa.

Para los beneficios rurales, los impuestos siguen siendo reducidos, cualquiera que sea la cantidad de agua consumida, y únicamente una queja de las comunidades campesinas ubicadas río abajo puede justificar semejante inversión.

Particularidades de los beneficios rurales

Que sean rurales o industriales (capacidad diaria inferior a 90 Qq o superior a 240 Qq), todos los beneficios se enfrentan con los mismos problemas: inversiones no productivas, un aumento del costo de producción, un diseño del procedimiento incompatible con el ahorro de agua, y la falta de espacio para instalar nuevos equipos.

Obligaciones y modo de funcionamiento de los beneficios cooperativos de tipo Tlapexcatl

Estos talleres de procesamiento del café tienen como características:

- una capacidad de producción diaria inferior a 90 Qq;
- un funcionamiento de tipo cooperativo que puede carecer de flexibilidad;
- un nivel de educación de los integrantes muy bajo;

(1) Un nuevo peso (NS) vale, al cambio de octubre de 1994, 0,29 US \$ o 1,55 FF.

(2) En México, un quintal es igual a 100 libras de café verde, o sea 45,4 kg; esto corresponde a unos 57,5 kg de café pergamino seco o 250 kg de café cereza.

- una capacidad de autofinanciamiento casi nulo, sobre todo desde la caída de los precios en 1989;
- volúmenes de aguas residuales reducidos;
- una tecnología rudimentaria, a veces incompleta.

Este conjunto de elementos dificulta la implantación de proyectos pilotos en los beneficios. Los grandes especialistas del tratamiento del agua no están interesados en empresas de reducida credibilidad financiera, que no necesitan sino pequeñas unidades de tratamiento y que presentan problemas de mantenimiento y de seguimiento específicos.

Una capacidad de financiamiento reducido

Cuando resulta difícil ya para estos beneficios cooperativos autofinanciar inversiones productivas, parece imposible exigirles que financien equipos no directamente productivos.

Se dispone de tres fuentes de financiamiento exteriores para desarrollar este tipo de proyecto:

- el sistema bancario: por intermedio de financiamientos logrados a niveles nacional e internacional, los bancos de segundo nivel pueden apoyar ciertos proyectos para equipar la industria con sistemas de descontaminación. Este tipo de financiamiento puede solamente funcionar para beneficios cooperativos ya económicamente estables. Pero la situación de crisis mundial del café no incita a los banqueros a invertir en la caficultura;
- las ayudas gubernamentales. En México, existen varias instituciones estatales, como la SARH por ejemplo, que sostienen los proyectos del sector agrícola. Estas ayudas son muy atractivas porque, en la mayoría de los casos, a fondo perdido o sin interés. Con todo, aunque el presupuesto dedicado al medio ambiente medio esté a la alza (presión del tratado TLC), resulta insuficiente para satisfacer todas las solicitudes;
- las vías alternativas. Se trata especialmente de las inversiones a fondo perdido realizadas por organizaciones no gubernamentales que disponen de financiamientos propios, o manejan fondos procedentes de instituciones internacionales.

El financiamiento de Tlapexcatl proviene de cuatro fuentes:

- la SARH, vía un programa de transferencia de maquinaria agroindustrial del INMECAFE⁽³⁾, soportó los costos de construcción (ingeniería y maquinaria);
- el CIRAD⁽⁴⁾ y la Cooperación francesa (Ministerio de Asuntos Exteriores), los costos de ingeniería y de seguimiento;
- los productores de café, los costos de mano de obra.

La moda actual, en pro de la ecología, permitió obtener varias fuentes de financiamientos a fondo perdido. No obstante, este tipo de montaje finan-

ciario, teniendo múltiples fuentes, y muchas veces con intereses divergentes, disminuye la flexibilidad y la sinergia que requiere este tipo de proyecto.

Exigencias técnicas

Integrar un sistema de tratamiento en un beneficio de café necesita cumplir con ciertas normas. La maquinaria debe ser sencilla, resistente y de fabricación local: un problema menor puede fácilmente expresarse por un paro temporario, inclusive definitivo, del sistema. Por esto, conviene limitar al máximo los riesgos de avería y construir con materiales y repuestos que se encuentran en la misma zona.

Por otro lado, el sistema de tratamiento debe ser de manejo sencillo, puesto que resulta económicamente imposible emplear un técnico a tiempo completo para su seguimiento. Un empleado del beneficio debe ser capaz de mantener y de manejar a diario el sistema.

Estos dos imperativos no son sinónimos de tecnología anticuada o poca eficiente. Al contrario, lograr altos rendimientos de depuración con un sistema sencillo impone que se utilicen tecnologías modernas perfectamente dominadas.

Construcción de la planta de descontaminación de Tlapexcatl

Descripción del sistema de tratamiento de aguas

El sistema de descontaminación funciona conforme a tres procedimientos (figura 2):

- tratamiento físico-químico con el tanque de sedimentación;
- tratamiento biológico anaerobio con el digestor;
- tratamiento biológico aerobio con el sistema de aspersion;

El sistema de descontaminación incluye los elementos que siguen:

El tanque de almacenamiento ($V = 36 \text{ m}^3$) compuesto de dos partes. Los elementos sólidos más densos sedimentan en la primera, más profunda de 50 cm (foto 1). Este tanque sirve de reserva para almacenar los altos volúmenes instantáneos, y posee también su importancia biológica.

Luego, viene un tanque de regulación ($V = 0.25 \text{ m}^3$) lo cual mantiene un desnivel de agua constante gracias a un sistema de flotadores (foto 2). Toda la circulación de agua se maneja por gravedad.

El sistema de calefacción ($V = 0.040 \text{ m}^3$), constituido por un calentador doméstico con termostato, alimentado con butano en la fase de arranque y luego con biogás (foto 3), calienta el afluente de 16-18 °C a 23-25 °C para favorecer una buena actividad bacteriana.

Le digestor anaerobio ($V_{\text{total}} = 13 \text{ m}^3$, $V_{\text{útil}} = 10 \text{ m}^3$). Es un digestor híbrido (foto 4), compuesto de dos partes separadas por una parilla, un lecho de lodos tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) en la parte inferior, y un sistema de filtro anaerobio en la parte superior (1/3 del volumen

■ El beneficio Tlapexcatl en cifras

En 1986, un grupo de caficultores minifundistas reagrupados dentro de la Sociedad de producción rural "Beneficio Tlapexcatl" construyó el beneficio Tlapexcatl, miembro de la Roca (*Red de organización cafetaleras autogestivas*). Este beneficio, ubicado a 1.100 m de altitud, pertenece al municipio de Cosautlán de Carvajal (Veracruz). Su capacidad instalada es de 33 Qq/día, y procesa como promedio 400 t de café cerezas ($\pm 1600 \text{ Qq}$) por campaña. Sus ingresos totales fluctúan entre 30,000 y 50,000 US \$.

El beneficio funciona 120 días por año, con 25 días sin abastecimiento, y un pico de dos semanas en enero (5 a 10 t de cerezas por día). El procesamiento del café se hace por vía húmeda. El agua se saca con la bomba de un río donde se vuelve a echar después de utilizarla. La recepción de las cerezas se hace en un sifón ($V_{\text{sifón}} = 7 \text{ m}^3$). El procesamiento de un kilo de cerezas requiere 5 a 18 l de agua según el operador y la cantidad de café, o sea un consumo total de 2.000 a 3.000 m^3 por temporada.

total o sea 4 m^3) formado de piedras volcánicas. Este filtro permite una mejor digestión al retener los sólidos en suspensión, aumentando el Tiempo de Retención de los Sólidos (TRS). Este reactor fue construido localmente, en fibra de vidrio. Se halla enterrado y aislado por una capa de poliestireno. Trece tubos de muestreo permiten seguir los fenómenos biológicos a lo largo del reactor. Está inclinado a 20° siguiendo la pendiente del terreno para disminuir los costos, mejorar la mezcla y aumentar el contacto bacterias-materia orgánica.

La campana de gas ($V = 7 \text{ m}^3$, en baja presión). Es un cilindro de acero, herméticamente cerrado por un lado, que se desplaza en un tanque de agua al llenarse de biogás. Está conectada al calentador.

El sistema aerobio ($S = 25 \text{ m}^3$). Contiene 6 m^3 de piedras volcánicas que desempeñan el papel de filtro aerobio. Al salir del reactor, el agua se almacena en un tanque de PVC ($V = 0.75 \text{ m}^3$). Una vez llenado, se vacía automáticamente gracias a un sistema de sifón. El agua cae en forma de lluvia (para cargarse de O_2) y chorrea sobre el montón de piedras en el cual se desarrolla una capa de microorganismos aerobios que van a digerir una parte de la DCO restante antes del regreso del agua en el arroyo.

Con este último tratamiento, el rendimiento de depuración del sistema debería alcanzar el 95 %.

Arranque del piloto

Como todos los procesos biológicos, el proceso de tratamiento anaerobio de las aguas residuales requiere un período de adaptación para alcanzar su capacidad máxima: las bacterias del inóculo deben adaptarse al medio y multiplicarse. Resulta pues importante disponer de un buen inóculo. Lo ideal

(3) Ex-Instituto mexicano del café, desaparecido en 1993.

(4) Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

sería utilizar bacterias provenientes de un reactor similar. Por lo general, un buen inóculo debe tener una actividad metanogénica la más alta posible, y una buena capacidad de sedimentación para evitar su arrastre (Wasser *et al.*, 1991).

Para este tipo de digestor, los lodos provenientes de fosas sépticas son más adaptados, por su buena capacidad de sedimentación (muy importante para un reactor tipo UASB). Así, el digestor Tlapexcatl fue inoculado con 8 m³ de lodos proveniente de una estación de depuración urbana, tipo "fosa séptica", de Xalapa.

El costo del sistema Tlapexcatl

El costo de inversión asciende a 940 US \$/m³ de volumen de digestor, cuya tercera parte aproximadamente corresponde al reactor (cuadro 2). Estas cifras se dan como ilustración porque resulta difícil extrapolar a partir de una situación semiexperimental. No obstante se nota que el costo referido al m³ de reactor resulta alto y no compatible con las cantidades de aguas residuales provenientes de los procesos de tratamiento actuales. Como ejemplo, un beneficio industrial que trata 5.000 t de cerezas por campaña, con picos de 125 t/día, en las condiciones actuales (unos 8 l de agua por kg de cerezas), debería equiparse con un reactor de 1.000 m³, o sea un costo que se puede evaluar en 500.000 US \$ con ahorros de escala.

Las opciones elegidas

Tipo de proceso: preferencia de los sistemas anaerobios

Técnica y economicamente, el sistema de tratamiento biológico es el más adaptado para las aguas residuales del café (Noyola, 1990). La vía anaerobia produce pocos lodos (células), genera energía (metano) y puede procesar una carga orgánica de 10 a 20 kg de DQO/m³.día, o sea 10 veces más que los sistemas aerobios. Por consiguiente, la vía anaerobia puede considerarse como más eficaz en el plan energético.

La preferencia de los sistemas microbiológicos anaerobios fue determinada por Bailly *et al.* (1992).

El digestor híbrido UASB/filtro anaerobio

Este digestor es un reactor anaerobio de segunda generación. El progreso logrado con este tipo de reactor se manifiesta en tiempos de retención hidráulica sustancialmente bajos (0.5 a 3 días), lo que implica una reducción del volumen del reactor, y mayor estabilidad y facilidad en su operación.

La parte inferior del digestor se compone de un lecho de lodos, cuya gran ventaja es que no requiere ningún tipo de soporte para retener la biomasa. Su principio de funcionamiento se basa en la buena capacidad de sedimentación de los flocúlos microbianos producidos dentro del reactor. Además, estos flocúlos presentan una actividad metanogénica muy elevada. El reactor es de tipo flujo ascendente (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), y su forma (más larga que ancha) favorece un desplazamiento

del agua de tipo pistón. La inclinación a 20° debería evitar los pasajes preferenciales.

La parte superior del digestor se compone de un filtro anaerobio constituido de piedras volcánicas. La biomasa anaerobia está retenida, en esta parte, gracias a la formación de una película de microorganismos fijados sobre el filtro. El coeficiente de vacío resulta lo suficientemente grande para evitar el taponamiento. Este reactor puede recibir, teóricamente, cargas de 10 kg de DCO/m³.día.

Construir con materiales localmente disponibles

Reducir el costo de construcción fue el principal objetivo (< 1000 US \$/m³ de reactor). Así, la circulación del agua se hace mediante gravedad, aprovechando la pendiente del terreno. Asimismo, todos los tanques fueron construidos con materiales tradicionales (piedras, ladrillos y cemento), excepto el digestor fabricado en fibra de vidrio y resina de poliéster. Con un número suficiente de digestores (>10 unidades), se construiría un molde, lo que disminuiría considerablemente los plazos y los costos de construcción.

Fijación del tamaño de la planta

Los diferentes elementos de la planta deben tener suficiente capacidad para recibir las aguas de despulpado y de lavado. No obstante, limitar la capacidad del sistema reduce sus dimensiones, el terreno necesario y, por consiguiente, su costo.

Tres elementos fijan el tamaño de la planta:

- el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH): al disminuir el TRH, se puede reducir el tamaño global del sistema y aquí se piensa alcanzar un TRH de 24 horas;
- la producción de aguas residuales por el beneficio: esta producción está directamente proporcional al volumen de entrada diaria de café, que fluctúa durante la temporada. Estas entradas presentan un pico que dura, a lo más, dos semanas de los cuatro meses de cosecha. En el beneficio de Tlapexcatl, no se sacaron las dimensiones de la planta conforme a las cantidades del pico para evitar un costo de funcionamiento prohibitivo durante el resto de la cosecha (el 90 % del tiempo);
- el ahorro de agua: tomando como base de cálculo un consumo de agua de 2 l/kg de cerezas, objetivo realista de una política de ahorro de agua, y un acopio promedio de 20 Qq/día generando una contaminación de 6 a 8 kg de DCO/Qq, será preciso depurar 10 m³ por día, con una carga promedio de 12 kg de DCO/m³.

Se decidió construir un digestor anaerobio piloto de 10 m³ útiles, para tratar la totalidad de las aguas residuales producidas por el beneficio rediseñado (para consumir la cuarta parte del consumo diario promedio actual), funcionando con un tiempo de retención de un día, suficiente para procesar 3 kg de DCO/m³ de digestor, con una eficiencia del 80%. El tanque de sedimentación y de almacenamiento

de 36 m³ regula el importante caudal de aguas residuales cuando el pico de producción.

Se preve un tratamiento aerobio de pulimento para alcanzar un rendimiento de depuración total del 95%.

Para un buen manejo del sistema

La finalidad de este proyecto es que los mismos empleados manejen el sistema. No obstante, como se trata de un sistema biológico bastante sensible, aunque el encargado del beneficio comprende el manejo global del sistema, el funcionamiento óptimo del proceso no será posible sino con un seguimiento diario y preciso del afluente, para controlar el pH y la carga y para ajustar el flujo de alimentación conforme a la capacidad del reactor. En caso de un desarrollo a mayor escala, lo ideal sería que un laboratorio especializado atendiera varios sistemas de este tipo en una misma zona.

Conclusión

La planta piloto procesadora de las aguas residuales del beneficio Tlapexcatl es una respuesta al problema ecológico de esta agroindustria pero también a todos los apremios e impuestos que se le imponen en México y, por regla general, cada vez más, en los países productores de café. La solución técnica elegida, centrada en un tratamiento anaerobio, permite instalar equipos compatibles con los problemas de espacio que enfrentan la mayoría de los beneficios, con costos de inversión modestos, pero también aporta cierta rentabilidad mediante la producción de energía.

A pesar de ello, parece realista pensar que la divulgación de este proceso será muy lenta y no afectará sino unos beneficios industriales para los cuales este piloto resulta inadecuado puesto que resulta subdimensionado. En efecto, el tratamiento de las aguas impone una nueva definición del proceso industrial de procesamiento del café y, a pesar de la fuerte corriente de opinión favorable a la preservación del medio ambiente, la magnitud de las inversiones necesarias hipoteca la rentabilidad de este sector.

Por último, cabe anotarse que la tendencia actual en los constructores de beneficios americanos es resolver el problema con un procesamiento "en seco", a pesar de las consecuencias negativas probables sobre la calidad de la bebida. ■