Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Supplementary S1

Supplementary S1. The composition of the continental crust and value of chemical exergy

To both systems; open-pit and alluvial mining technology, the mineral excavated composition different to the mineral of interest as product (gold) and co-products (silver and mineral ferrous respectively) were taking as the composition of the mainly element of the continental crust reported in "The composition of the continental crust" [45] and ***Table S1-1***. In the case of engraving, sands and clays in alluvial mining technology the composition is the same. Aditionally, ***Table S2-2*** presents the chemical properties of the pure compounds used in both mining system

Table S1-1. Composition of the continental crust and value of chemical exergy

Mineral excavated composition´s			g/mol	kJ/mol	J/(mol K)	J/mol	J/(mol K)
Compound	%	Fraction	Molar mass	Enthalpy	Entropy	Specific exergy	Cp
Al2O3	15,10	0,15	101,96	-1675,69	50,92	200400,00	192,50
CaO	5,50	0,06	56,08	-635,09	38,19	110200,00	42,09
Fe2O3	6,28	0,06	159,69	-825,50	87,28	127000,00	103,70
K2O	2,40	0,02	94,20	-363,15	94,03	413100,00	83,62
MgO	3,70	0,04	40,31	-601,24	26,95	66800,00	66,94
MnO	0,10	0,00	70,94	-385,00	60,00	119400,00	60,00
Na2O	3,20	0,03	44,01	-416,00	73,00	296200,00	72,95
SiO2	61,50	0,63	60,09	-910,86	41,44	1900,00	44,57
TiO2	0,68	0,01	79,90	-938,72	50,62	21400,00	55,18
Total	97,78	1,00	72,85	-972,61	47,81	69129,4948	74,21

Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Table S1-2 Properties of pure components

Compound	g/mol Molar mass	kJ/ Kg Enthalpy, H°	kJ/(kg K) Entropy, S°	kJ/kg Specific Exergy E°
Agua	18,00	-15879,44	3,88	50,00
Calcio	100,09	-12058,15	0,93	7117,59
Magnesio	24,31	0,00	1,36	26069,43
NaOH	40,00	-10649,05	5,71	1872,64
Oro	196,60	0,00	2,41	78,33
Plata	108,87	0,00	0,39	644,81
Aire	28,97	0,00	3,70	0,06
CN-	84,00	-1797,62	1,40	10059,52
MR	72,85	-13350,23	0,66	948,88
Human solid waste	180,00	-7,06	0,00	16347,61
Cal	56,10	-635,09	0,93	50,45
Borax	381,37	-16,49	0,00	182,60
TNT[a]	80,04	-4,57	0,00	3748,24
Coal	12,00	0,00	0,03	34210,83
Hydrogen peroxide	34,01	-4,00	0,01	7118,02
Sodium bisulfite	182,10	-47,34	0,00	336,02
vegetal cover[b]*	963	19589	0,930776643	20411

[a] Trinitrotolueno, C7H5N3O6

[b] See Supplementary S3.

Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Supplementary S2

Supplementary S2. Calculation of chemical exergy for chemical substances. Estimation of enthalpia, gibbs energy and training entropy

For chemical substances whose enthalpy and entropy values were not found, the Joback method of contribution of atomic groups was used to estimate their thermodynamic properties [46] **Ec. 1**.

$$DH_{f,298} = 68.29 + \sum ND_{h_i}$$
$$DG_{f,298} = 53.88 + \sum ND_{G_i} \qquad \textit{Ec. 1}$$

In the Ec. 2, N is the number of atomic group like (ie. CH_2, CH_3, phenyl radical. etc.) and D_{G_i} is the contribution of this group to Gibbs formation energy, tabulated in [47]. The entropy of formation was calculated using the equation of state **Ec. 2** and exergy Ec.4

$$DG_{f,298} = DH_{f,298} + T.DS_{f,298} \qquad \textbf{Ec. 2}$$

$$C_xH_yO_zN_aS_b + \left(x + \frac{y}{4} + \frac{z}{2} + b\right)O_{2(g)} \rightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O_{(l)} + \frac{a}{2}N_{2(g)} + bSO_{2(g)}$$

$$\Delta G_{f,298} = 53.88 + \sum ND_{G_i} \qquad \textbf{Ec. 3}$$

$$e = xe_{CO_2} + \frac{y}{2}e_{H_2O_{(l)}} + \frac{a}{2}e_{N_{2(g)}} + be_{SO_{2(g)}} - \Delta G_{f,298} \qquad \textbf{Ec. 4}$$

Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Table S2-1 to **Table S2-5** presents the properties of the chemicals substances that participate in the process and that are not tabulated (enthalpy, Gibbs energy, entropy). **Table S2-6** present the chemical exergy for each substance.

Table S2-1. Thermodynamic properties for potassium amylxanthate (PAX)

CAS Number 7607-99-0	Groups´ number	H° Kj/Kmol	G° kj/kmol	S° kj/kmol K
CH3	1	-76,45	-46,96	
CH2	5	-20,64	8,42	
CH	1	37,97	48,53	
O	1	132,22	-105	
S	1	41,87	33,12	
SH	1	17,33	-22,99	
		118,03	**2,68**	**0,39**

Table S2-2. Thermodynamic properties for Aerophine 3416

CAS Number 7607-99-0	Groups´ number	H° Kj/Kmol	G° kj/kmol	S° kj/kmol K
CH3	1	-76,45	-46,96	
CH2	4	-20,64	8,42	
C	1	83,99	92,36	
O	1	132,22	-105	
S=	1	39,1	27,76	
SH	1	-17,33	-22,99	
		147,26	**32,73**	**0,38**

Table S2-3. Thermodynamic properties for methyl-isobutyl-carbinol (MIBC)

CAS Number: 108-11-2	Groups´ number	*H° Kj/Kmol*	*G° kj/kmol*	*S° kj/kmol K*
CH3	3	-76,45	-46,96	
CH2	1	-20,64	8,42	
CH	2	29,89	58,36	
OH	1	-208,04	-189,2	
		-329,96	**-151,06**	**0,60**

Table S2-4. Thermodynamic properties for CH3(OC3H6) Aerofroth 65

CAS Number: 34 590-94-8	Groups´ number	*H° Kj/Kmol*	*G° kj/kmol*	*S° kj/kmol K*
CH3	2	-76,45	-46,96	
CH2	1	-20,64	8,42	
CH	1	29,89	58,36	
O	1	132,22	-105	
OH	1	-208,04	-189,2	
		-151,18	**-267,46**	**0,39**

Table S2-5. Thermodynamic properties for Magnafloc 155 (Polyacrylamide)

CAS Number: 9003-05-8	Groups´ number	*H° Kj/Kmol*	*G° kj/kmol*	*S° kj/kmol K*
CH3	0	-76,45	-46,96	
CH2	1	-20,64	8,42	
CH	1	29,89	58,36	
C	1	83,99	92,36	
NH2	1	-22,02	14,07	

O=	1	-241	-250,83	
		-101,49	**-23,74**	**-0,26**

Table S2-6. Thermodynamic properties for each substance (Exergy was calculated with **Eq. 4)**

SUBSTANCE, number of:	**PAX**	**MIBC**	**Aerofroth 65**	**Aerophine 3416**	**Magnafloc 155**	**Hydrogen peroxide**
G° kJ/kmol	2,68	-151,06	-267,46	32,73	-23,74	-205,5291
N C	6	6	4	6	845070	0
N H2	5,5	7	5,5	11,5	704225	1
N O2	0,5	0,5	0,5	0,5	281690	1
N S	2	0	0	2	0	0
N N2	0	0	0	0	140845	0
E° kJ/kmol	**4973792,68**	**4133463,94**	**2954762,54**	**6403922,73**	**5,15998E+11**	**-205,5291**

Finally, **Table S2-7** summarizes the values obtained for all chemical substances

Table S2-7. Thermodynamic properties for each substance (Joback method of contribution of atomic groups) [46]

	Molar mass	**H° kj/kg**	**S° kJ/kg K**	**E° kj/kg**
PAX	163,00	0,72	0,00	30514,07
MIBC	90,00	-3,67	0,01	45927,38
Aerofroth 65	73,00	-2,07	0,01	40476,20
Aerophine 3416	164,00	0,90	0,00	39048,31
MAGNAFLOC	20000000,00	0,00	0,00	25799,92

Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Supplementary S3

Supplementary S3. calculation of chemical exergy of biomass (vegetal cover)

Chemical exergy of the vegetal cover was calculated with the method developed by Qian et al., [54]. Where la entalpía de la biomasa fue calculada con Ec. 5 , donde HHV es el poder calorífico superior taked as forest residue from [54] (19589 kJ kg^{-1})

$$H°_{f,298} = -HHV \qquad \textbf{Ec. 5}$$

Standard specific entropy change of the combustion reaction in kJ kg^{-1} K^{-1} **Ec. 6** and, the standard specific entropy was calculated by the correlation proposed by Song et al., [36] Ec. 7, which is statistically based on the standard entropies of 27 selected biologically important molecules. Ec 8 shows exergy calculation.

$$\Delta_r s° = xS°CO2 + \frac{y}{2}S°H2O + \frac{a}{2}S°N2 + bS°SO2 - \left(x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2} + b\right)S°O2 - s°biomass \qquad \textbf{Ec. 6}$$

$$s°\ biomass = 0.0055C + 0.0954H + 0.0096O + 0.0098N + 0.0138S, kJ.kg^{-1}.K^{-1} \qquad \textbf{Ec. 7}$$

$$e = xe_{CO_2} + \frac{y}{2}e_{H_2O_{(l)}} + \frac{a}{2}e_{N_{2(g)}} + be_{SO_{2(g)}} + HHV + T_o\Delta_r s° \qquad \textbf{Ec. 8}$$

Where $S°CO2$, $S°H2O$, $S°N2$, $S°SO2$, $S°O2$ are the standard entropies of carbon dioxide, water (liquid phase), nitrogen, sulfur dioxide and oxygen, respectively, kJ $mol^{-1}K^{-1}$

Standard molar entropy of the products concerned in the combustion of biomass (db) is taken from [54] **Table C-1**, and the chemical exergy value was taken for biomass forest residue reported in [54] (20411 kJ kg^{-1})

Table S3-1. Standard molar entropy and exergy

Substance	S°/kJ mol^{-1} K^{-1}	e/kJ mol^{-1}
O2	0,205	3.97
CO2	0,214	19.87
H2O	0,07	0.95
N2	0,192	0.72
S2	0,249	310.93
Biomass	1,164568	

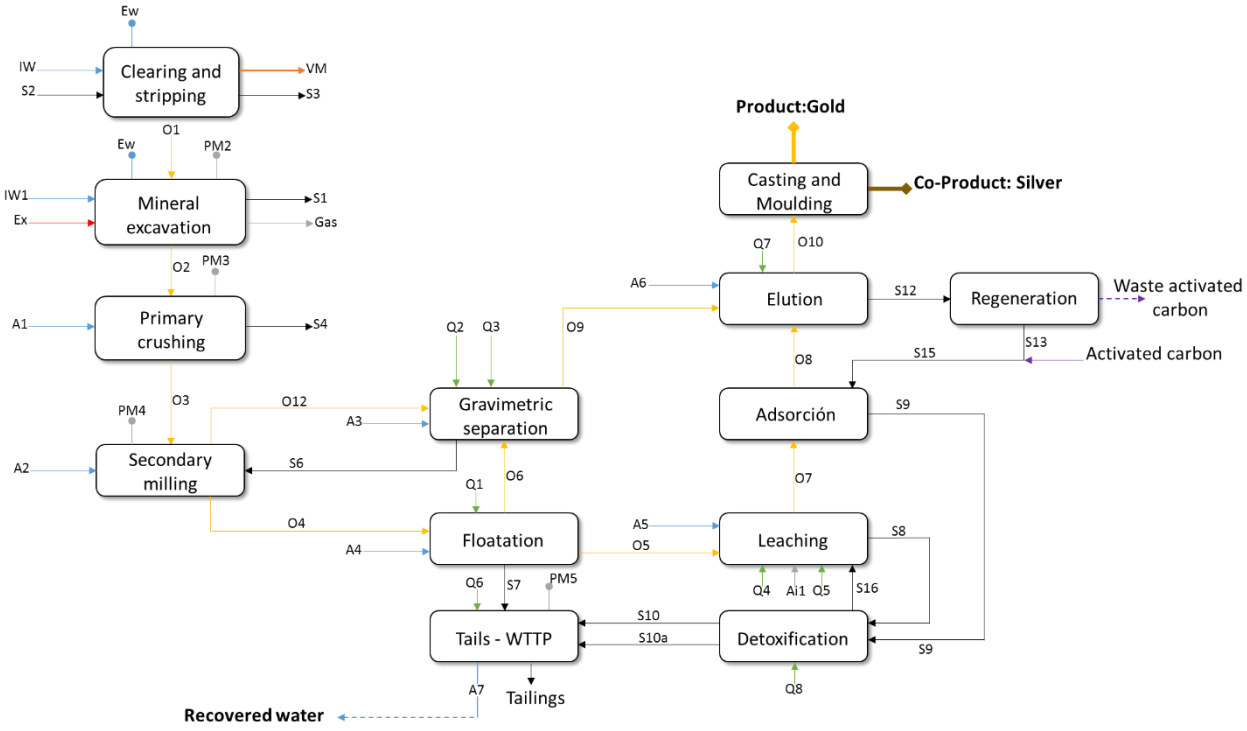
Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

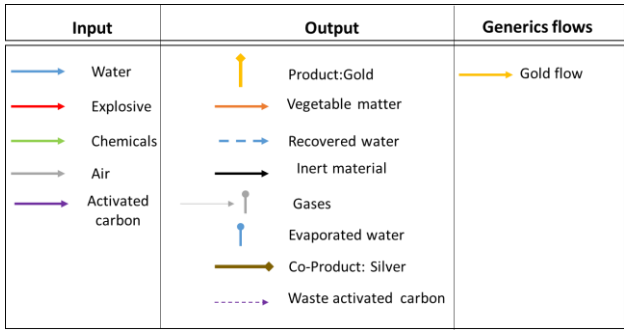
Supplementary S4

Supplementary S4. Energy, exergy and mass balance to open-pit mining technology

Figure S4-1 show the open-pit mining process description. **Table S4-1** mass balance.



FigureS4-1. Description of open-pit mining technology



Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Table S4-1. Mass balance open-pit mining technology

Process data	**T °C**	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00
	Process	Excavation	Excavation	Excavation	Excavation	Excavation	Excavation	Excavation	Excavation	Crushing	Crushing	Crushing	Crushing	Crushing
	Direction	in	in	in	out	out	out	out	out	in	in	out	out	out
	Name	Ex	O1	Iw1	O2	S1	Gas	Ew1	PM2	A1	O2	O3	PM3	S4
	Stream (ton/year)	**14068,73**	**73000000,00**	**5080950,00**	**33164950,00**	**39846670,15**	**703,44**	**5080950,00**	**1745,15**	**0,00**	**33164950,00**	**25795070,00**	**24,10**	**7369855,90**
Mass fraction	**Inert material**	0,00	0,95	0,00	0,95	0,95	0,00	0,00	1,00	0,00	0,95	0,94	1,00	0,99
	H_20	0,00	0,05	1,00	0,05	0,05	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	0,06	0,00	0,01
	Gold	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Silver	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Magnesio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Calcio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CN-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Air	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	NaOH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HCL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Others	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continued

Process data	**T °C**	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00
	Process	Milling	Milling	Milling	Milling	Milling	Milling	Milling	Separation	Separation	Separation	Separation	Separation	Separation	Separation	Flotation	Flotation
	Direction	in	in	in	out	out	out	out	in	in	in	in	in	out	out	in	in
	Name	A2	O3	S6	S5	PM4	O12	O4	A3	O12	Q2	Q3	O6	S6	O9	O4	A4
	Stream (ton/year)	**35883130,50**	**25795070,00**	**36926529,50**	**0,00**	**70,92**	**28589540,00**	**70015190,00**	**8320689,81**	**28589540,00**	**10,81**	**89,88**	**16800,00**	**36926529,50**	**601,00**	**70015190,00**	**2083144,00**
Fracción másica	**Inert material**	0,00	0,94	0,66	1,00	1,00	0,85	0,35	0,00	0,85	0,00	0,00	0,40	0,66	0,00	0,35	0,00
	H_20	1,00	0,06	0,34	0,00	0,00	0,15	0,65	1,00	0,15	0,00	0,00	0,60	0,34	0,88	0,65	1,00
	Gold	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Silver	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	Magnesio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Calcio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CN-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00
	Air	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	NaOH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
	HCL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Others	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continued

Process data	**T °C**	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00
	Process	Flotation	Flotation	Flotation	Flotation	Flotation	Leaching	Leaching	Leaching	Leaching	Leaching	Leaching	Leaching	Leaching	Leaching	Adsorption	Adsorption	Adsorption
	Direction	in	in	out	out	out	in	in	in	in	in	in	out	out	in	in	in	out
	Name	Q1	Air1	O5	O6	S7	A5	O5	Q4	Q5	Air2	S16	O7	S8	S15	S15	O7	O8
	Stream (ton/year)	**966,00**	**352800,00**	**5941600,00**	**16800,00**	**66140900,00**	**0,00**	**5941600,00**	**1872,11**	**2185,00**	**22695,12**	**521570,00**	**2219777,00**	**4270145,23**	**2667,67**	**2667,67**	**2219777,00**	**2625,00**
Fracción másica	**Inert material**	0,00	0,00	0,15	0,40	0,35	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00
	H_20	0,00	0,00	0,85	0,60	0,65	1,00	0,85	0,00	0,00	0,00	1,00	0,60	0,99	0,00	0,00	0,60	0,00
	Gold	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	Silver	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	Magnesio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Calcio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CN-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Air	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	NaOH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HCL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Others	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,99
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continued

Process data	**T °C**	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00
	Process	Adsorption	Adsorption*	Adsorption*	Adsorption*	Detox	Detox	Detox	Detox	Detox	Detox	Tails	Tails	Tails	Tails	Tails	Tails
	Direction	out	in	in	out	in	in	in	out	out	out	in	in	in	in	out	out
	Name	S9	S9	CA1	S13	S9	S8	Q8	S10	S16	S10a	S10a	Q6	S7	S10	A7	S11
	Stream (ton/year)	**2219819,67**	**75,90**	**2591,77**	**2667,67**	**2219819,67**	**4270145,23**	**242,60**	**4383693,76**	**521570,00**	**1562249,71**	**1562249,71**	**310,50**	**66140900,00**	**4406389,00**	**47882609,80**	**24226864,13**
Fracción másica	**Inert material**	0,40	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,20	0,00	1,00
	H_20	0,60	0,00	0,00	0,00	0,60	0,99	0,00	0,80	1,00	1,00	1,00	0,00	0,65	0,80	1,00	0,00
	Gold	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Silver	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Magnesio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Calcio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CN-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Air	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	NaOH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HCL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Others	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continued

Process data	**T °C**	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00
	Process	Tails	Elution	Elution	Elution	Elution	Elution	Elution	Elution	Regeneration	Regeneration	Regeneration	Casting	Casting	Casting
	Direction	out	in	in	in	in	out	out	out	in	out	out	in	out	out
	Name	MP5	A6	Q7	O9	O8	O10	S12	M2	S12	S13	S14	O10	**SILVER**	**GOLD**
	Stream (ton/year)	**375,28**	**689664,50**	**991140,17**	**601,00**	**2625,00**	**40,60**	**1683990,07**	**0,00**	**1683990,07**	**2591,77**	**1681398,30**	**40,60**	**21,55**	**19,05**
Fracción másica	**Inert material**	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H_20	0,00	1,00	0,70	0,88	0,00	0,00	0,82	0,00	0,82	0,00	0,82	0,00	0,00	0,00
	Gold	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,00	1,00
	Silver	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	1,00	0,00
	Magnesio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Calcio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CN-	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Air	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	NaOH	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HCL	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,18	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00
	Others	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continued

Process data	**T °C**	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00
	Process	Stripping	Stripping	Stripping	Stripping	Stripping
	Direction	in	in	out	out	out
	Name	Iw	S2	Vm	S3	Ew
	Stream (ton/year)	**5645815,00**	**2467,45**	**1331,84**	**5645815,00**	**1135,61**
Fracción másica	**Inert material**	0,00	0,44	0,00	0,96	0,00
	H20	1,00	0,02	0,00	0,04	1,00
	Gold	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Silver	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Magnesio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Calcio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CN-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Air	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	NaOH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HCL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Others	0,00	0,54	1,00	0,00	0,00
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Table S4-2. Exergy balance open-pit mining

Temperature °C	Process	Direction	Name	Stream kmol/año	Chemical Exergy kJ/mol	Exergy stream kJ/year	Exergy Demand E/Ein
298	Extraction	in	Ex	1,76E+05	3,00E+02	5,27E+10	1,30E-05
298	Extraction	in	O1	1,15E+09	5,60E+01	6,47E+13	1,60E-02
298	Extraction	in	Iw1	2,82E+08	9,00E-01	2,54E+11	6,27E-05
298	Extraction	out	O2	5,25E+08	5,60E+01	2,94E+13	7,25E-03
298	Extraction	out	S1	6,30E+08	5,61E+01	3,53E+13	8,72E-03
298	Extraction	out	Gas	8,79E+03	3,00E+02	2,64E+09	6,51E-07
298	Extraction	out	We1	2,82E+08	9,00E-01	2,54E+11	6,27E-05
298	Extraction	out	MP2	2,40E+04	6,91E+01	1,66E+09	4,09E-07
298	Crushing	in	A1	0,00E+00	#¡DIV/0!	0,00E+00	0,00E+00
298	Crushing	in	O2	5,25E+08	5,60E+01	2,94E+13	1,00E+00
298	Crushing	out	O3	4,20E+08	5,36E+01	2,25E+13	7,67E-01
298	Crushing	out	MP3	3,31E+02	6,91E+01	2,29E+07	7,78E-07
298	Crushing	out	S4	1,04E+08	6,00E+01	6,25E+12	2,13E-01
298	Milling	in	A2	1,99E+09	9,00E-01	1,79E+12	3,87E-02
298	Milling	in	O3	4,20E+08	5,36E+01	2,25E+13	4,86E-01
298	Milling	in	S6	1,04E+09	2,12E+01	2,20E+13	4,75E-01
298	Milling	out	S5	0,00E+00	#¡DIV/0!	0,00E+00	0,00E+00
298	Milling	out	MP4	9,74E+02	6,91E+01	6,73E+07	1,45E-06
298	Milling	out	O12	5,75E+08	3,87E+01	2,22E+13	4,80E-01
298	Milling	out	O4	2,88E+09	7,90E+00	2,27E+13	4,90E-01
298	G. Separation	in	A3	4,62E+08	9,00E-01	4,16E+11	1,84E-02
298	G. Separation	in	O12	5,75E+08	3,87E+01	2,22E+13	9,81E-01
298	G. Separation	in	Q2	2,70E+02	3,77E+01	1,02E+07	4,50E-07
298	G. Separation	in	Q3	1,07E+03	8,45E+02	9,04E+08	3,99E-05
298	G. Separation	in	O6	6,54E+05	9,52E+00	6,22E+09	2,75E-04
298	G. Separation	out	S6	1,04E+09	2,12E+01	2,20E+13	9,72E-01

Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Temperature °C	Process	Direction	Name	Stream kmol/año	Chemical Exergy kJ/mol	Exergy stream kJ/year	Exergy Demand E/Ein
298	G. Separation	out	O9	3,03E+04	1,96E+01	5,93E+08	2,62E-05
298	Floatation	in	O4	2,88E+09	7,90E+00	2,27E+13	9,94E-01
298	Floatation	in	A4	1,16E+08	9,00E-01	1,04E+11	4,56E-03
298	Floatation	in	Q1	8,10E+03	4,47E+03	3,62E+10	1,58E-03
298	Floatation	in	Air1	1,22E+07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
298	Floatation	out	O5	2,93E+08	3,32E+00	9,72E+11	4,25E-02
298	Floatation	out	O6	6,54E+05	9,52E+00	6,22E+09	2,72E-04
298	Floatation	out	S7	2,70E+09	8,11E+00	2,19E+13	9,57E-01
298	Leaching	in	A5	0,00E+00	#¡DIV/0!	0,00E+00	0,00E+00
298	Leaching	in	O5	2,93E+08	3,32E+00	9,72E+11	9,56E-01
298	Leaching	in	Q4	2,23E+04	8,45E+02	1,88E+10	1,85E-02
298	Leaching	in	Q5	3,89E+04	2,83E+00	1,10E+08	1,08E-04
298	Leaching	in	Air2	7,83E+05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
298	Leaching	in	S16	2,90E+07	9,00E-01	2,61E+10	2,56E-02
298	Leaching	out	O7	8,60E+07	8,80E+00	7,57E+11	7,44E-01
298	Leaching	out	S8	2,37E+08	8,43E-01	1,99E+11	1,96E-01
298	Adsorción	in	S15	2,96E+03	4,11E+02	1,22E+09	1,44E-03
298	Adsorción	in	O7	8,60E+07	9,78E+00	8,42E+11	9,99E-01
298	Adsorción	out	O8	3,12E+03	3,82E+02	1,19E+09	1,41E-03
298	Adsorción	out	S9	8,60E+07	9,78E+00	8,42E+11	9,99E-01
298	Adsorción R	in	S9	8,43E+01	4,11E+02	3,46E+07	2,85E-02
298	Adsorción R	in	CA1	2,88E+03	4,11E+02	1,18E+09	9,72E-01
298	Adsorción R	out	S13	2,96E+03	4,11E+02	1,22E+09	1,00E+00
298	Detoxification	in	S9	8,60E+07	9,78E+00	8,42E+11	8,08E-01
298	Detoxification	in	S8	2,37E+08	8,43E-01	1,99E+11	1,92E-01
298	Detoxification	in	Q8	2,78E+03	1,87E+01	5,19E+07	4,98E-05
298	Detoxification	out	S10	2,07E+08	4,40E+00	9,11E+11	8,75E-01

Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Temperature °C	Process	Direction	Name	Stream kmol/año	Chemical Exergy kJ/mol	Exergy stream kJ/year	Exergy Demand E/Ein
298	Detoxification	out	S16	2,90E+07	9,00E-01	2,61E+10	2,50E-02
298	Detoxification	out	S10a	8,68E+07	9,00E-01	7,81E+10	7,50E-02
298	Tails	in	S10a	8,68E+07	9,00E-01	7,81E+10	1,47E-06
298	Tails	in	Q6	1,55E-02	5,16E+08	8,01E+09	1,51E-07
298	Tails	in	S7	2,70E+09	1,97E+04	5,31E+16	1,00E+00
298	Tails	in	S10	2,07E+08	4,48E+00	9,28E+11	1,75E-05
298	Tails	out	A7	2,66E+09	9,00E-01	2,39E+12	4,51E-05
298	Tails	out	S11	3,32E+08	6,92E+01	2,30E+13	4,33E-04
298	Tails	out	MP5	5,15E+03	6,91E+01	3,56E+08	6,71E-09
298	Elution	in	A6	3,83E+07	9,00E-01	3,45E+10	8,17E-02
298	Elution	in	Q7	4,69E+07	8,23E+00	3,86E+11	9,14E-01
298	Elution	in	O9	3,03E+04	1,96E+01	5,93E+08	1,41E-03
298	Elution	in	O8	3,12E+03	3,82E+02	1,19E+09	2,82E-03
298	Elution	out	O10	2,95E+02	5,06E+01	1,49E+07	3,54E-05
298	Elution	out	S12	8,52E+07	4,79E+00	4,09E+11	9,68E-01
298	Elution	out	M2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
298	Regeneration	in	S12	8,52E+07	4,79E+00	4,09E+11	1,00E+00
298	Regeneration	out	S13	2,88E+03	4,11E+02	1,18E+09	2,89E-03
298	Regeneration	out	S14	8,52E+07	4,78E+00	4,07E+11	9,97E-01
298	Casting	in	O10	2,95E+02	5,06E+01	1,49E+07	1,00E-01
298	Casting	out	**SILVER**	1,98E+02	7,02E+01	1,39E+07	9,34E-02
298	Casting	out	**GOLD**	9,69E+01	1,54E+01	1,49E+06	1,00E-02
298	Stripping	WI	0	3,14E+08	9,00E-01	2,82E+11	4,01E-04
298	Stripping	S2	0	1,90E+04	5,31E+01	1,01E+09	1,44E-06
298	Stripping	Vm	0	1,38E+03	1,97E+04	2,72E+10	3,86E-05
298	Stripping	S3	0	8,78E+07	5,75E+01	5,04E+12	7,17E-03
298	Stripping	Ew	0	6,31E+04	9,00E-01	5,68E+07	8,07E-08

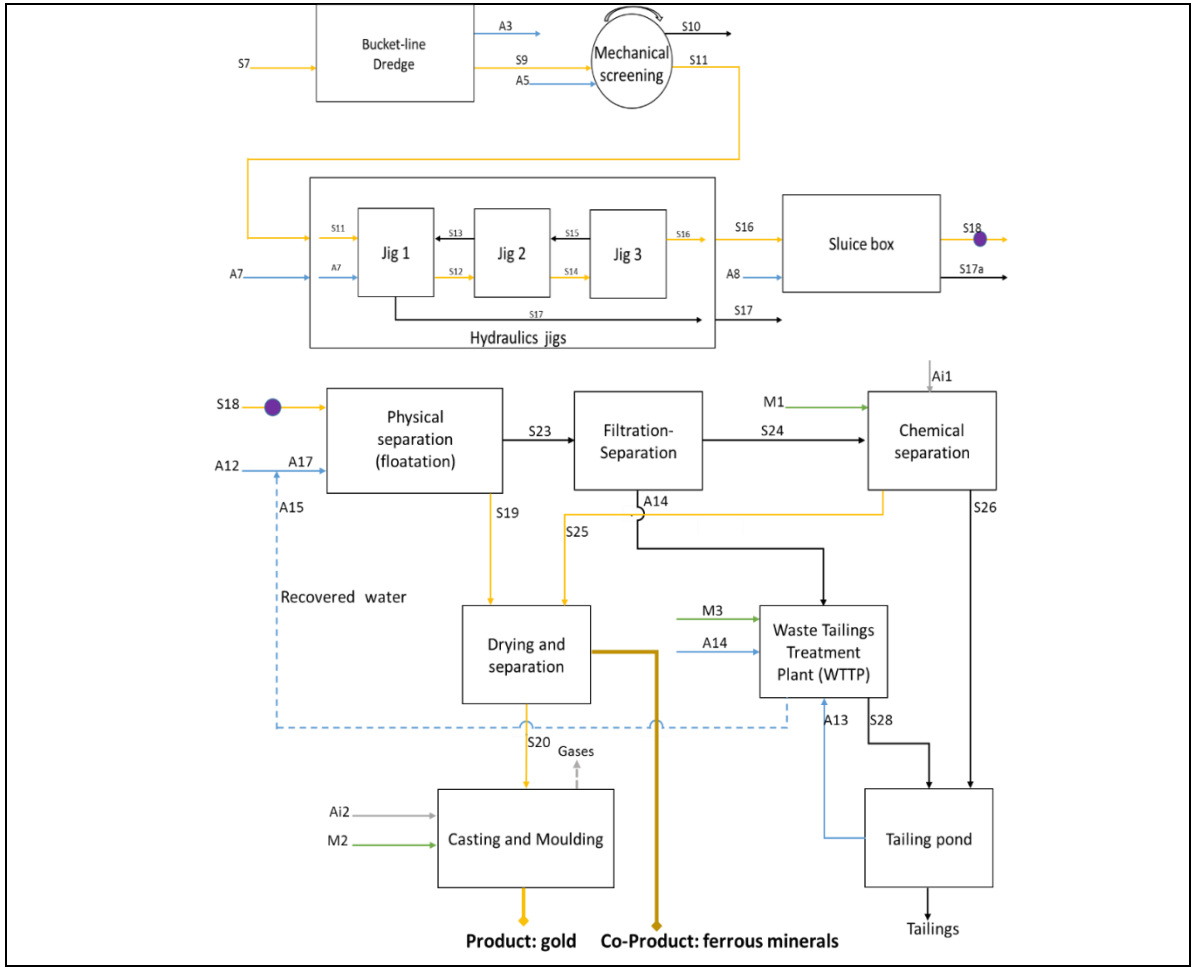
Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Supplementary S5

Supplementary S5. Energy, Exergy and mass balance to open-pit mining technology

Figure S5-1 show the open-pit mining process description. **Table S5-1** mass balance.



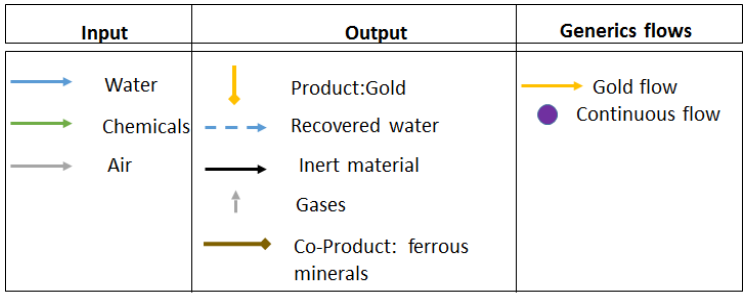


Figure S5-1. Description alluvial mining process

Note: Exploration and stripping is not graphed because is a batch process, but are into account in the calculated

Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Table S5-1. Mass balance alluvial mining technology

Proess data	**T °C**	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298
	Process	Exploration	Exploration	Exploration	Exploration	Stripping	Stripping	Stripping	Stripping	Stripping	Bucket-line	Bucket-line	Bucket-line
	Stream (ton/year)	**435,83**	**124,80**	**0,00**	**560,63**	**60,00**	**35363976,34**	**1149750,00**	**35364036,34**	**1149750,00**	**69548151,45**	**67970770,70**	**1577380,75**
	Direction	in	in	out	out	in	in	in	out	out	in	out	out
	Name	S1	A1	S2	S3	S4	S5	A4	S6	A4	S7	S9	A3
Fracción másica	**Gravel**	0,35	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,21	0,00
	Sand	0,21	0,00	0,00	0,17	0,00	0,34	0,00	0,34	0,00	0,74	0,76	0,00
	Silt	0,17	0,00	0,00	0,13	0,00	0,26	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
	Clay	0,22	0,00	0,00	0,17	0,00	0,35	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00
	Gold	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Metals	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Water	0,05	1,00	0,00	0,26	0,00	0,05	1,00	0,05	1,00	0,05	0,03	1,00
	Air	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Others	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continued

Process data	**T °C**	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298
	Process	Screening	Screening	Screening	Screening	Jig 1	Jig 1	Jig 1	Jig 1	Jig 1	jig 2	jig 2	jig 2	jig 2	jig 3	jig 3	jig 3
	Stream (ton/year)	**67970770,70**	**74583643,90**	**14519700,00**	**128034714,60**	**128034714,60**	**11234450,34**	**26431354,08**	**136374606,90**	**29325912,12**	**7135370,37**	**29325912,12**	**26431354,08**	**10029928,41**	**10029928,41**	**7135370,37**	**2894558,04**
	Direction	in	in	out	out	in	in	in	out	out	in	in	out	out	in	out	out
	Name	S9	A5	S10	S11	S11	A7	S13	S17	S12	S15	S12	S13	S14	S14	S15	S16
Fracción másica	Gravel	0,21	0,00	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sand	0,76	0,00	0,00	0,40	0,40	0,00	0,44	0,37	0,46	0,55	0,46	0,44	0,59	0,59	0,55	0,69
	Silt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Clay	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Gold	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Metals	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Water	0,03	1,00	0,03	0,60	0,60	1,00	0,56	0,64	0,54	0,45	0,54	0,56	0,41	0,41	0,45	0,31
	Air	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Others	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continued

Process data	**T °C**	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298
	Process	Sluice boxes	Sluice boxes	Sluice boxes	Sluice boxes	Services	Services	Services	Services	Services	Mix point	Mix point	Mix point
	Stream (ton/year)	**2894558,04**	**483990,00**	**46,54**	**3378501,50**	**46,54**	**9381,96**	**7,30**	**46,54**	**9389,26**	**4504,50**	**441504,00**	**446008,50**
	Direction	in	in	out	out	in	in	in	out	out	in	in	out
	Name	S16	A8	S18	S17a	S18	A10	M4	S18	A11	A12	A15	A17
Fracción másica	**Gravel**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sand	0,69	0,00	0,80	0,59	0,80	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00
	Silt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Clay	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Gold	0,00	0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
	Metals	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
	Water	0,31	1,00	0,10	0,41	0,10	1,00	0,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,00
	Air	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Others	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continued

Process data	**T °C**	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298
	Process	Floatation	Floatation	Floatation	Floatation	Filtration-Separation	Filtration-Separation	Filtration-Separation	Chemical separation	Chemical separation	Chemical separation	Chemical separation	Chemical separation
	Stream (ton/year)	**46,54**	**446008,50**	**446001,25**	**53,78**	**446001,25**	**445996,49**	**4,76**	**4,76**	**0,81**	**20,00**	**0,12**	**25,44**
	Direction	in	in	out	out	in	out	out	in	in	in	out	out
	Name	s18	A17	S23	S19	S23	A14	S24	S24	M1	Ai1	S25	S26
Fracción másica	**Gravel**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sand	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01
	Silt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Clay	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Gold	0,07	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00	1,00	0,00
	Metals	0,03	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Water	0,10	1,00	1,00	0,81	1,00	1,00	0,83	0,83	0,00	0,00	0,00	0,07
	Air	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,90
	Others	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,02
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continued

Process data	**T °C**	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298
	Process	Drying and separation	Drying and separation	Drying and separation	Drying and separation	WTTP	WTTP	WTTP	WTTP	WTTP	WTTP
	Stream (ton/year)	**53,7842963**	**0,1241**	**50,8058963**	**3,1025**	**445996,49**	**0,44564**	**0,3804**	**3,82**	**441504,003**	**4497,13328**
	Direction	in	in	out	out	in	in	in	in	out	out
	Name	S19	S25	Ferrous mineral	S20	A14	M3	A16	A13	A15	S28
Fracción másica	**Gravel**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sand	0	0	0	0	0,00024425	0	0	0	0	0,00817969
	Silt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Clay	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gold	0,12231272	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	Metals	0,06370645	0	0,07258445	0	0	0	0	0	0	0
	Water	0,81398083	0	0,92741555	0	0,99975575	0	1	1	1	0,99172193
	Air	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Others	0	0	0	0	0	1	0	0	0	9,8383E-05
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continued

Process data	**T °C**	298	298	298	298	298	298	298	298
	Process	Tailing pond	Tailing pond	Tailing pond	Tailing pond	Casting and Moulding	Casting and Moulding	Casting and Moulding	Casting and Moulding
	Stream (ton/year)	**4497,1333**	**25,4446**	**3,8200**	**4518,7579**	**3,1025**	**310,25**	**3,1025**	**310,25**
	Direction	in	in	out	out	in	in	out	out
	Name	S28	S26	A13	S27	S20	M2	**Gold**	Gas
Fracción másica	**Gravel**	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Sand	0,0082	0,0080	0,0000	0,0082	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Silt	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Clay	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Gold	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000
	Metals	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Water	0,9917	0,0683	1,0000	0,9872	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Air	0,0000	0,9006	0,0000	0,0044	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Others	0,0001	0,0231	0,0000	0,0002	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Table S5-2. Exergy balance open-pit mining

Temperature °C	Process	Direction	Name	Stream kmol/año	Chemical Exergy kJ/mol	Exergy Stream kJ/year	Exergy Demand E/Ein
298	Exploration	in	S1	6,95E+03	6,64E+01	4,61E+08	4,48E-04
298	Exploration	in	A1	6,93E+03	7,02E+01	4,87E+08	4,73E-04
298	Exploration	out	S2	1,11E-04	1,54E+01	1,70E+00	1,65E-12
298	Exploration	out	S3	1,39E+04	6,83E+01	9,48E+08	9,21E-04
298	Stripping	in	S4	6,23E+01	1,97E+04	1,22E+09	3,05E-06
298	Stripping	in	S5	5,68E+08	6,64E+01	3,77E+13	9,39E-02
298	Stripping	in	A4	6,39E+07	7,02E+01	4,48E+12	1,12E-02
298	Stripping	out	S6	5,68E+08	6,64E+01	3,77E+13	9,39E-02
298	Stripping	out	A4	6,39E+07	7,02E+01	4,48E+12	1,12E-02
298	Bucket-line Dredge	in	S7	1,13E+09	6,65E+01	7,49E+13	1,91E-01
298	Bucket-line Dredge	out	S9	1,04E+09	6,62E+01	6,87E+13	1,75E-01
298	Bucket-line Dredge	out	A3	8,76E+07	7,02E+01	6,15E+12	1,57E-02
298	Mechanical screening	in	S9	1,04E+09	6,62E+01	6,87E+13	1,01E-01
298	Mechanical screening	in	A5	4,14E+09	7,02E+01	2,91E+14	4,27E-01
298	Mechanical screening	out	S10	2,19E+08	6,61E+01	1,45E+13	2,13E-02
298	Mechanical screening	out	S11	4,96E+09	6,95E+01	3,45E+14	5,07E-01
298	Jig 1	in	S11	4,96E+09	6,95E+01	3,45E+14	6,38E-01
298	Jig 1	in	A7	6,24E+08	7,02E+01	4,38E+13	8,10E-02
298	Jig 1	in	S13	9,87E+08	6,94E+01	6,85E+13	1,27E-01
298	Jig 1	out	S17	5,51E+09	6,96E+01	3,84E+14	7,09E-01
298	Jig 1	out	S12	1,06E+09	6,94E+01	7,39E+13	1,36E-01
298	Jig 2	in	S15	2,33E+08	6,91E+01	1,61E+13	---
298	Jig 2	in	S12	1,06E+09	6,94E+01	7,39E+13	---
298	Jig 2	out	S13	9,87E+08	6,94E+01	6,85E+13	---
298	Jig 2	out	S14	3,11E+08	6,90E+01	2,15E+13	---
298	Jig 3	in	S14	3,11E+08	6,90E+01	2,15E+13	---

Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Temperature °C	Process	Direction	Name	Stream kmol/año	Chemical Exergy kJ/mol	Exergy Stream kJ/year	Exergy Demand E/Ein
298	Jig 3	out	S15	2,33E+08	6,91E+01	1,61E+13	---
298	Jig 3	out	S16	7,75E+07	6,85E+01	5,31E+12	---
298	Sluice boxes	in	S16	7,75E+07	6,85E+01	5,31E+12	5,30E-01
298	Sluice boxes	in	A8	2,69E+07	7,02E+01	1,89E+12	1,88E-01
298	Sluice boxes	out	S18	8,25E+02	6,39E+01	5,27E+07	5,26E-06
298	Sluice boxes	out	S17a	1,04E+08	6,90E+01	7,20E+12	7,18E-01
298	Services	in	S18	8,25E+02	6,39E+01	5,27E+07	1,02E-06
298	Services	in	A10	5,21E+05	7,02E+01	3,66E+10	7,06E-04
298	Services	in	M4	4,06E+01	2,94E+03	1,19E+08	2,30E-06
298	Services	out	S18	8,25E+02	6,39E+01	5,27E+07	1,02E-06
298	Services	out	A11	5,21E+05	7,04E+01	3,67E+10	7,09E-04
298	Mix point	in	A12	2,50E+05	7,02E+01	1,76E+10	1,01E-02
298	Mix point	in	A15	2,45E+07	7,02E+01	1,72E+12	9,90E-01
298	Mix point	out	A17	2,48E+07	7,02E+01	1,74E+12	1,00E+00
298	Floatation	in	s18	8,25E+02	6,39E+01	5,27E+07	2,17E-05
298	Floatation	in	A17	2,48E+07	7,02E+01	1,74E+12	7,16E-01
298	Floatation	out	S23	2,48E+07	7,02E+01	1,74E+12	7,16E-01
298	Floatation	out	S19	2,53E+03	6,78E+01	1,71E+08	7,05E-05
298	Filtration-Separation	in	S23	2,48E+07	7,02E+01	1,74E+12	8,63E-01
298	Filtration-Separation	out	A14	2,48E+07	7,02E+01	1,74E+12	8,63E-01
298	Filtration-Separation	out	S24	2,29E+02	6,97E+01	1,59E+07	7,91E-06
298	Chemical separation	in	S24	2,29E+02	6,97E+01	1,59E+07	3,85E-05
298	Chemical separation	in	M1	8,56E+00	3,26E+03	2,79E+07	6,73E-05
298	Chemical separation	in	Ai1	6,90E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
298	Chemical separation	out	S25	6,31E-01	1,54E+01	9,72E+03	2,35E-08
298	Chemical separation	out	S26	8,97E+02	3,03E+01	2,72E+07	6,56E-05
298	Drying and separation	in	S19	2,53E+03	6,78E+01	1,71E+08	2,97E-03

Exergy-Based Sustainability Assessment of Gold Mining in Colombia: A Comparative Analysis of Open-Pit and Alluvial Mining.

Natalia A. Cano-Londoño*, Javier Ordoñez-Loza, Héctor Velásquez and Heriberto Cabezas

Temperature °C	Process	Direction	Name	Stream kmol/año	Chemical Exergy kJ/mol	Exergy Stream kJ/year	Exergy Demand E/Ein
298	Drying and separation	in	S25	6,31E-01	1,54E+01	9,72E+03	1,68E-07
298	Drying and separation	out	Ferrous mineral	2,68E+03	6,85E+01	1,84E+08	3,18E-03
298	Drying and separation	out	S20	1,58E+01	1,54E+01	2,43E+05	4,21E-06
298	WTTP	in	A14	2,48E+07	7,02E+01	1,74E+12	9,10E-01
298	WTTP	in	M3	2,23E-04	2,95E+03	6,58E+02	3,45E-10
298	WTTP	in	A16	2,11E+01	7,02E+01	1,48E+06	7,76E-07
298	WTTP	in	A13	2,12E+02	7,02E+01	1,49E+07	7,80E-06
298	WTTP	out	A15	2,45E+07	7,02E+01	1,72E+12	9,01E-01
298	WTTP	out	S28	2,48E+05	7,02E+01	1,74E+10	9,12E-03
298	Tailing pond	in	S28	2,48E+05	7,02E+01	1,74E+10	6,51E-02
298	Tailing pond	in	S26	8,97E+02	3,03E+01	2,72E+07	1,02E-04
298	Tailing pond	out	A13	2,12E+02	7,02E+01	1,49E+07	5,57E-05
298	Tailing pond	out	S27	2,49E+05	7,01E+01	1,75E+10	6,52E-02
298	Casting and Moulding	in	S20	1,58E+01	1,54E+01	2,43E+05	2,50E-10
298	Casting and Moulding	in	M2	1,99E+03	2,18E+01	4,34E+07	4,45E-08
298	Casting and Moulding	out	S22	1,58E+01	1,54E+01	2,43E+05	2,50E-10
298	Casting and Moulding	out	Gas	1,99E+03	2,18E+01	4,34E+07	4,45E-08

REFERENCES

[36] Song GH, Shen LH, X. J. (2011). Estimating specific chemical exergy of biomass from basic analysis data. Industrial & Engineering Chemistry Research, 50, 9758–66.

[45] Wedepohl, K. H. (1995). INGERSON LECTURE The composition of the continental crust. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59(7), 1217–1232. http://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00038-2

[46] Joback, K. G. & Reid, R. C. (1987). Estimation of pure-component properties from groupcontributions. Chemical Engineering Communications, 57(1–6), 233–243.

[47] Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (1997). Chemical Engineers ' Handbook Seventh. Society (Vol. 27). http://doi.org/10.1021/ed027p533.1

[50]Cullen, J. M., & Allwood, J. M. (2010). Theoretical efficiency limits for energy conversion devices. Energy, 35(5), 2059–2069. http://doi.org/10.1016/j.energy.2010.01.024

[54] Qian, H., Zhu, W., Fan, S., Liu, C., Lu, X., Wang, Z., … Chen, W. (2017). Prediction models for chemical exergy of biomass on dry basis from ultimate analysis using available electron concepts. Energy, 131, 251–258. http://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.037