

Elaboración de funciones estadísticas para la estimación de costos para proyectos de Pad de Lixiviación

Franco Sánchez, Anddes, Peru

Axel Castro, Anddes, Peru

Nancy Tafur, Anddes, Peru

Resumen

En el Perú, la construcción de pads de lixiviación para la producción de metales como el oro, plata, y cobre se realiza principalmente en la zona de los Andes, en donde enfrentamos diversos entornos adversos como las condiciones climáticas, físicas y topográficas; los cuales tienen un impacto en los costos de construcción tanto para el inicio de operación como para la ampliación de las siguientes fases. El costo de construcción representa una parte importante de un proyecto de un pad de lixiviación y condiciona de manera directa la viabilidad del proyecto minero.

Este trabajo tiene por objetivo brindar una herramienta que sea útil para la estimación de los costos de un pad de lixiviación, bajo determinadas condiciones, que es necesario para la etapa de evaluación de la viabilidad y toma de decisiones en proyectos de inversión de este tipo.

Para el desarrollo de la herramienta de estimación de costos se realizará un análisis usando la base de datos de los proyectos desarrollados ejecutados en el Perú en los últimos 10 años, con el fin de generar funciones de costos de las principales actividades constructivas para la conformación del pad de lixiviación tales como: retiro de material orgánico, movimiento de tierras, sistema de subdrenaje, sistema de revestimiento, sistema de colección de solución y sobrerevestimiento, que son las partidas más incidentes en los costos de construcción de un pad de lixiviación este tipo de instalaciones. Además, incluye el desarrollo de funciones de costos de sus principales estructuras complementarias para el caso de inicio de operación, tales como: poza PLS, poza de mayores eventos emergencia y poza de subdrenaje.

Esta herramienta contribuirá a estimar el costo de construcción de un pad de lixiviación sin la necesidad de realizar un esfuerzo exhaustivo en las primeras etapas de evaluación económica, en consecuencia, puede ayudar en un futuro a agilizar la toma de decisiones en proyectos de inversión minera.

Adicionalmente, con el objetivo de evaluar la aplicación de esta herramienta, se ha realizado simulaciones con información de proyectos ya construidos ejecutados para verificar que los costos obtenidos se encuentren dentro del margen aceptable en comparación con los costos reales de construcción para un nivel de pre-inversión.

Finalmente, esta herramienta servirá como referencia para los proyectistas, contratistas y/o profesionales asociados a este rubro para la estimación de los costos de futuros proyectos de pads de lixiviación según sean sus necesidades.

Introducción

En los últimos 10 años, la construcción de pads de lixiviación en el Perú se ha incrementado de manera importante principalmente para la recuperación de metales como oro y plata, debido a las ventajas de bajo costo de construcción y operación que representa para el explotación yacimientos de minerales de baja ley. Para la construcción de pads de lixiviación es necesario ejecutar diversos trabajos tales como movimiento de tierras para alcanzar los niveles de cimentación y superficie de nivelación, construcción del sistema de subdrenaje, instalación del sistema de revestimiento y sistema de colección de la solución lixiviada, y finalmente trabajos de colocación del overliner en toda el área impermeabilizada, sobre el cual se descargarán el mineral ROM, chancado o aglomerado, según corresponda, el cual servirá como material de protección y/o drenaje.

Actualmente, no se cuenta con un registro documentado de los costos asociados a la construcción de pads de lixiviación en las zonas andinas del Perú, que sirva de base para evaluar la viabilidad de este tipo de proyectos en dichas regiones, la cual usualmente se realiza a partir de ratios de proyectos anteriores en función del área construida, sin considerar en muchos de los casos las características propias de la zona donde se emplazará el proyecto. En consecuencia, conociendo la limitación de este tipo de información y la importancia que representan los costos de construcción estimados en las etapas iniciales en la evaluación de un proyecto minero, información que es importante y necesaria para las empresas mineras, consultoras y entidades del estado, se concluye que es de gran importancia contar con una herramienta estadística (función de costo) que permita realizar estimaciones de costo de construcción a nivel conceptual de una manera más precisa y acorde con el entorno que lo rodea.

El presente artículo presenta la metodología del trabajo, la recopilación y procesamiento de datos, y los resultados obtenidos en términos de funciones estadísticas asociadas a los costos de construcción de proyectos de pads de lixiviación. Para la estimación de las funciones de costo, la investigación se ha enfocado en el análisis de las principales actividades y/o sistemas asociados como son la cimentación,

superficie de nivelación, sistema de subdrenaje, sistema de revestimiento, sistema de colección de solución, y overliner.

Objetivo

El objetivo de este paper es establecer una metodología estadística que permita aproximarnos de manera razonable a los costos de los diferentes componentes de un proyecto de pad de lixiviación en zonas andinas, de manera que pueda ser utilizada como una herramienta de trabajo en la estimación de costos conceptuales con mayor grado de precisión. Asimismo, mediante análisis estadístico (correlación, gráficos de control, etc.) se determinarán las ecuaciones o intervalos que permitirán conocer los costos aproximados a priori de los componentes de los sistemas de un pad de lixiviación.

Metodología de trabajo

Con los estudios propuestos se pretenden hacer inferencias de valores poblacionales (proporciones, medias) a partir de una muestra. El tamaño de la muestra, si la población es finita, está dado por:

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q}$$

Dónde:

N: es el total de la población;

Z_α: es 1,96² si la seguridad deseada es del 95 %;

p: es la proporción esperada (en este caso 5 % o 0,05);

q = 1-p (en este caso 1-0,05=0,95);

d: es la precisión (en este caso se desea un 3 %).

Cuando se desea estimar una proporción, se debe conocer:

- El nivel de confianza o seguridad (1-α). El nivel de confianza prefijado da lugar a un coeficiente (Z). Para un nivel de seguridad del 95% α = 1.96, para un nivel de seguridad del 99% α = 2.58
- La precisión que se desea para el estudio.
- Una idea del valor aproximado del parámetro que se quiere medir (en este caso, una proporción, p). Esta idea se puede obtener revisando la literatura o mediante estudios pilotos previos. En caso de no tener dicha información se utilizará el valor p = 0,5 (50 %).

Nuestro universo contempla 21 proyectos a nivel de ingeniería de detalle ejecutados entre 2015 y 2022, por lo que el tamaño de la muestra es:

$$n = \frac{21 \times 1.96^2 \times 0.05 \times 0.95}{0.03^2 \times (21 - 1) + 1.96^2 \times 0.05 \times 0.95}$$

$$n = 19$$

Esto quiere decir que solo será necesario evaluar 19 estudios de ingeniería si se desea una seguridad del 95% con una precisión del 3%. La metodología permite realizar tres pasos: 1) recolección y/o recopilación de datos, 2) procesamiento de datos paralela a la recopilación, y 3) análisis estadístico.

Recopilación de datos

La recopilación fue realizada de la base de datos de Anddes, donde los proyectos se encuentran ubicados digitalmente. De la información recibida sobre costos de proyectos de pads de lixiviación proveniente de diversas unidades mineras, se logró obtener un total de 21 proyectos.

Cabe precisar, que los costos de los proyectos de inversión corresponden a los costos directos, es decir, no incluyen impuestos locales, utilidades, gastos generales, supervisión, expediente, entre otros, esto con el fin de evitar las variaciones propias de estos ítems y obtener datos de función de costo cerrado, a excepción del análisis estadístico que se hizo al CAPEX total del proyecto.

Se identificaron las variables de cada uno de los componentes en los proyectos de pads de lixiviación, y después de haber sido ubicados en base de datos de Anddes.

Base de Datos

La base de datos de los 21 proyectos ubicados en Perú con un nivel de ingeniería de detalle, son mostrados en la Figura 1, donde la mayor incidencia se observa en los años 2019 y 2020.

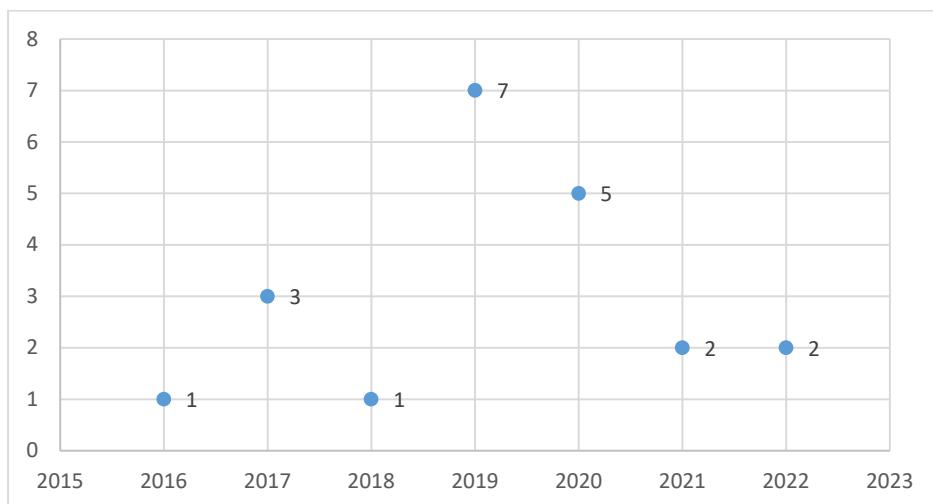


Figure 1: Cantidad de proyectos vs Año

Procesamiento de datos

Se identificaron cada una de las características principales de cada sistema en un proyecto de pad de lixiviación. Los sistemas considerados fueron: cimentación, nivelación, subdrenaje, revestimiento, colección de solución y overliner (Wills and Finch, 2016). Para una mayor información y entendimiento de las actividades y sistemas asociados a la construcción del pad de lixiviación, a continuación, se presenta un resumen de cada uno de estos.

Cimentación

Corresponde al nivel en donde se cimentará el pad de lixiviación y es estimado en función de las investigaciones geotécnicas de campo y ensayos de laboratorio. Los costos asociados a esta actividad corresponden a trabajos de limpieza y desbroce, remoción de arbustos, y corte de material orgánico e inadecuado hasta alcanzar los niveles de cimentación.

Superficie de nivelación

Corresponde a la superficie final donde se instalará el sistema de revestimiento del pad de lixiviación. Deberá tener una pendiente hacia un punto de concurrencia para el drenaje y descarga de la solución lixiviada hacia las pozas de procesos. Los costos asociados a esta actividad incluyen los trabajos de corte y rellenos de manera de alcanzar los niveles propuestos en el diseño del pad.

Sistema de subdrenaje

Tiene la función de captar los flujos de aguas subterráneas que se originen dentro de los límites del pad de lixiviación y derivarlos por debajo del sistema de revestimiento y rellenos hacia las pozas de subdrenaje, ubicadas aguas abajo. El sistema de subdrenaje está compuesto por drenes principales y secundarios instalados en las zonas bajas del pad, consistentes en zanjas con tuberías de HDPE en el fondo, cubiertas con grava de drenaje y con geotextil no tejido en la parte superior como protección para evitar la migración de partículas finas. Los costos asociados a este sistema incluyen los trabajos de corte para la construcción de zanjas, instalación de tuberías y geosintéticos, y colocación de material drenaje.

Sistema de revestimiento

Tiene la función de actuar como una capa impermeable para limitar la infiltración de solución lixiviada hacia el terreno natural. Está conformado por una capa inferior de suelo de baja permeabilidad de 300 mm de espesor o revestimiento geosintético de arcilla (GCL) como revestimiento secundario y una lámina de geomembrana como revestimiento primario. Los costos asociados a este sistema incluyen los trabajos de movimientos tierras para la colocación del suelo de baja permeabilidad (o la instalación del GCL) y la instalación de la geomembrana.

Sistema de colección de solución

Tiene la función de colectar y conducir de manera rápida la solución lixiviada que se genera en la base del pad debido al riego del mineral en la pila, hacia la poza de operación. El sistema de colección de la solución está compuesto por tuberías principales y secundarias instaladas en las zonas bajas del pad sobre la geomembrana, las cuales se cubren con material grava de drenaje o mineral lixiviado para facilitar la conducción de la solución. Los costos asociados a este sistema incluyen los trabajos de instalación de tuberías y colocación del material drenante.

Overliner

El overliner corresponde a la capa de material granular que tiene la función de protección de la geomembrana y/o drenaje de la solución con espesores variando entre 0.50 a 0.80 m. Este material seleccionado debe ser durable y es esparcido sobre la geomembrana y tuberías de colección. Cuando el overliner tiene la función de protección, su finalidad es reducir daños y roturas en la geomembrana por la descarga del mineral y el tránsito de los equipos de transporte y esparcido del mineral; cuando el overliner es usado como drenaje, se requieren coeficientes de permeabilidad relativamente altos, tendrá la finalidad de facilitar a colección de la solución en la base de la pila. Los costos asociados a este sistema incluyen los trabajos de colocación del material granular.

Análisis estadístico

Con la metodología descrita se descargó la información en cuadros específicos y detallados, separándola por cada característica de cada uno de los sistemas de un pad de lixiviación.

La metodología empleada para la determinación de las funciones de costo se basó en la evaluación estadística de la información resultante del registro de las características del pad de lixiviación (21 proyectos).

Análisis de datos

A fin de detectar aquellos registros extremos de la muestra de datos que puedan distorsionar los resultados, se realizó una primera estimación de la desviación estándar (σ) y del costo actualizado promedio o costo actualizado unitario promedio, según corresponda.

Dado que de acuerdo con el Teorema de Tchebysheff, en cualquier conjunto de observaciones se cumple que al menos el 75% de los datos se desvía a lo más 2 desviaciones estándar de la media, y que para el caso de grupos de datos que tienen una distribución normal aproximadamente el 95% de los datos se encuentran a menos de 2 desviaciones estándar de la media, se procedió a establecer como límite para los datos el rango de "promedio $\pm 2\sigma$ " (Aguilar, 2021). Todos aquellos datos que se encontraron fuera de este rango fueron descartados de la muestra.

Determinación del Modelo Matemático

Una vez descartados los datos de la muestra que se encontraron fuera del rango límite establecido por "promedio $\pm 2\sigma$ ", se calcularon la desviación estándar y el promedio final. Este promedio final representa al Costo Promedio Unitario del elemento de obra, siendo la función de costo de la forma:

$$Y = K * X \text{ (Función Constante)}$$

Donde:

Y: Costo total del sistema

K: Costo promedio unitario del sistema

X: Cantidad del sistema (m, m₂, m₃, etc.)

Una vez obtenida la muestra de datos resultante del primer análisis, se elaboró un cuadro contenido en una primera columna la información de la característica del sistema (capacidad o dimensión, área, altura, volumen, longitud de tuberías, etc.), que corresponderá a la variable independiente (X), y en una segunda columna la información del costo actualizado/costo actualizado unitario, que corresponderá a la variable dependiente (Y). Por ejemplo: capacidad vs. CAPEX, volumen de corte vs costo, área de cimentación vs. costo, longitud de tuberías de subdrenaje vs. costo, etc.

Para la determinación de los modelos matemáticos se hizo uso del software estadístico de Microsoft Excel 2021 para funciones costo que tienen como dependencia una sola variable (Handz, 2022), para lo cual se ingresó la información del procesamiento de información. De esta manera, previa verificación de su validez estadística, se funciones para cada grupo de datos de acuerdo al sistema del pad graficado, por lo tanto, la función costo obtenida es la función que tiene un mayor índice de correlación entre las distintas gráficas posibles de obtener mediante el Excel. Adicionalmente, se descartaron las gráficas que tenían un índice de correlación (R^2) menor a 0.7 debido a que el grupo de datos tiene una dispersión de nivel medio o fuerte.

Asimismo, con el fin de encontrar una correlación de más de dos diferentes variables se utilizó el programa GMDH Shell 3 (Koshulko, 2022), se ingresó y se iteró diferentes variables con el fin de obtener una ecuación entre varias variables las cuales posean una buena correlación de acuerdo con guías de estimaciones paramétricas (Hastak, 2015). También se descartaron las funciones con un índice de correlación (R^2) menor a 0.7.

Resultados

Obtenidos los valores representativos, se determinó la regresión para la obtención de la formula función de costo de cada componente encontrado en los proyectos analizados dando como resultado las funciones de costo mostrados en la Tabla 1.

De los datos analizados se han determinado 16 funciones de costo que presentan una adecuada correlación. En la Tabla 1 se muestra las fórmulas estimadas.

Tabla 1: Funciones de costo

Ítem	Componente del sistema	Parámetro	Und	Función de costo	Tipo de función	R ²
1	CIMENTACIÓN					
1.1	Costo de corte para cimentación	Volumen, V	m ³	4.6972V + 153087	Lineal	0.98
1.2	Costo de corte para cimentación	Área, A	m ²	C=-9E-15A4+5E-09A ³ - 0.0009A ² +48.709A+460428 -7.46719e-09 + 730476*A*6.69275e-07 + A*0.511111	Polinómica	0.75
	Volumen para cimentación	Área de emplazamiento, Aem		A = -44133.5 + Aem*B*4.61247e-06 B = 316330 + Df*C*0.0950892		
1.2	Df promedio, Df	m ²		C = 305429 - ((58280 + Df ² *28859.5 + Acim*0.46544))*((251827 + Df ² *29571))*6.60125e-07 + ((158280 + Df ² *28859.5 + Acim*0.46544)) ² *9.91017e-07	Polinómica	0.95
	Área de cimentación, Acim					
2	NIVELACIÓN					
2.1	Costo de corte	Volumen, Vcut	m ³	7.93Vcut - 402886.26	Lineal	0.93
2.2	Costo de relleno	Volumen, Vfill	m ³	5.37Vfill + 891945	Lineal	0.81
3	SUBDRENAJE					
3.1	Costo total de tuberías	Longitud de tubería, L	m	0.0002L ² + 29.74L - 32325.70	Cuadrática	0.89
3.2	Costo de instalación	Longitud de tubería, L	m	0.0007L ² + 3.9923L - 1528.7	Cuadrática	0.92
3.3	Costo de procura	Longitud de tubería, L	m	-0.0005L ² + 25.754L - 30797	Cuadrática	0.93
3	COLECCIÓN					
3.1	Cantidad de tuberías	Área pend. máx de 10%, Ar	m ²	1.29E-06Ar ² + 0.057Ar + 6222.55	Cuadrática	0.88
3.3	Costo total de tuberías	Longitud de tubería, L	m	-0.0002 L ² + 31.391L - 16740	Polinómica	0.67
4	REVESTIMIENTO					
4.1	Costo total de revestimiento	Área revestida, Arev Área mayor a 25%(GCL), A25	m ²	229265 + A25*11.654 + Arev*7.10	Polinómica	0.86
5	OVERLINER					
5.1	Costo de relleno para overliner	Volumen, V	m ³	y = 2E-05V ² + 2.2454V + 498514	Polinómica	0.93
5.2	Costo de relleno para overliner	Área revestida, Arev Área mayor a 25%, A25	m ²	Arev*3.11 -13.8*A40 + A25*23.11 + 1093981.3	Polinómica	0.59

Ítem	Componente del sistema	Parámetro	Und	Función de costo	Tipo de función	R ²
		Área mayor a 40%, A40				
6	CAPEX			$Y1 = 1.74215e-07 - Aem*2.8135e-12 + "A"*1$		
6.1	CAPEX	Área de emplazamiento, Aem		$"A" = 1.3689e+06 + "B"*1.11307 - "D"*0.244371$		
		Área revestida, Arev		$"B" = -4.04774e+06 + Df*2.16951e+06 + "C"*0.994604$		
		Df promedio, Df		$"C" = 2.02666e+06 - Aem40*69.7453 + Arev*80.2128$	Polinómica	0.82
		Área de emplazamiento>4 0%, Aem40		$"D" = 1.92584e+06 + Aem*20.7416 + "E"*0.387097$		
6.2	Área de emplazamiento	Volumen, V		$"E" = 3.14215e+06 + Aem*33.8416 - 27855 - V*9826.86 + A*1.52949$		
		Longitud de quebrada, L				
		Área de cresta, Acrest		$A = -29609.4 + L*60.9164 + B*0.967463$	Polinómica	0.85
				$B = 100803 + V*18908.7 - Acrest*13893.3$		

Conclusion

Las funciones de costo obtenidas permiten tener una estimación de orden de magnitud del posible costo que se puede generar para el desarrollo de un proyecto minero para un pad de lixiviación. Estas funciones han sido obtenidas con una sola variable y logrando una buena correlación. No obstante, existen diferentes variables que se pueden tomar en cuenta como la clasificación de áreas de acuerdo con un rango establecido de pendientes de los taludes para poder lograr una función que permita tener una estimación gruesa del costo.

En la presente investigación se han obtenido los costos de las actividades más frecuentes durante la construcción de un pad de lixiviación tales como cimentación, nivelación, subdrenaje, colección de la solución, revestimiento y sobrerevestimiento.

El desarrollo de las funciones de costo son de aplicabilidad para las estimaciones de Clase 5 o 4 de acuerdo con el sistema de clasificación de estimados de costos propuesto por la AACE International (Bredheoef, Pickett and Dysert, 2019). Esto es un sustento en alcanzar una mejor precisión en las estimaciones de costos que oscilan de -50% a +100% de variación.

Se recomienda disponer de la mayor fuente de datos posible con el fin de ampliar las funciones de costo, no solo para el emplazamiento de un nueva instalación minera o su ampliación en terrenos

característicos de las zonas altoandinas del Perú, sino teniendo en cuenta las complejidades y características únicas de cada región como Latinoamérica, Norteamérica, u otras regiones del mundo.

Se recomienda buscar diferentes variables, así como las diferentes correlaciones que se obtendrían entre ellas, utilizando metodologías enfocadas en el análisis de datos como redes neuronales.

Si bien las presentes funciones de costos son limitadas, es recomendable realizar investigaciones con el fin de que la industria minera pueda posea estas herramientas y obtenga ventajas desde el nivel de ingeniería conceptual y por supuesto el ahorro de tiempo y recursos durante la elaboración de las siguientes etapas de ingeniería del proyecto.

Acknowledgements

Se agradece la realización de este paper a Anddes y el apoyo de nuestros familiares.

References

- M. Hastak. 2015. *Skills and Knowledge of Cost Engineering*. Morgantown, West Virginia. AACE International.
- B. A. Wills, J. Finch. 2016. *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Waltham, Massachusetts. Elsevier.
- P. Bredehoeft, T. Pickett, L. Dysert. 2019. *Cost Estimate Classification System*. Morgantown, West Virginia. AACE International.
- J. Aguilar. 2021. *Estadística descriptiva, regresión y probabilidad con aplicaciones*. Bogotá, Colombia. Ediciones de la U.
- V. Handz. 2022. *EXCEL 2021 & 365 Paso a Paso*. United States. ValentinBook Publishing.
- A. Koshulko. “10 Best Demand Forecasting Software for 2022”. GMDH. 2022. <https://gmdhsoftware.com/demand-forecasting-software>.

Appendix (optional)

Base de datos

PROYECTO	1110.1 0.05	1110.10. 10	1110.1 0.14	1110.1 0.18	1112.1 0.21	1112.1 0.32	1112.1 0.48	1112.1 0.61	1112.1 0.65	1113.1 0.27	1113.1 0.39	1116.10. 17 3A	1116.10. 17 3B	1116.10. 17 4	1116.10. 17 5	1408.1 0.07	1408.1 0.26	1408.1 0.32	1112.1 0.87	
Ampliación o Nuevo	AMP	AMP	AMP	NUEVO	AMP	AMP	AMP	NUEVO	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	NUEVO	NUEVO	AMP	AMP	
Capacidad (Mt)	1.8	0.624	13.52	6.75	10.83	22.4	22.78	41.26	18.32	30.86	9.71	21.24	6.87	15.18	12.21	11.05	10.88	44.97	5.87	
Densidad asumida (t/m ³)	1.6	1.6	1.6	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.68	1.68	1.58	1.58	1.58	1.58	1.7	1.7	1.78	1.7	
Volumen de diseño (Mm ³)	1.123	0.39	8.45	3.75	6.37	13.18	13.4	24.27	10.78	18.37	5.78	13.44	4.35	9.61	7.73	6.5	6.4	25.23	3.45	
Área de cresta (Ha)	2.9	1.35	3.08	2.6	2.05	2.24	10.54	9.45	9.3	3.46	2.02	4.99	2.39	2.64	0.98	5.59	6.375	36.17	3.6	
Talud global	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
Altura máxima (Total)	32	23	75	70	95	97	118	127	69	96	130	100	56	79	94	80	64	120	92	
Año	2014	2014	2017	2018	2014	2015	2017	2017	2017	2016	2017	2016	2016	2016	2016	2016	2018	2019	2022	
Área de emplazamiento (TN)	62630	57608	270710	219100	185290	367076	201210	216100	197800	297402	173769	298487	83038	286028	299467	347565	411623	732780	259380	
Pendiente menor a 10%	4430	14171	12650	26400	45900	81103	23660	23400	26400	98064	43849	114370	67399	30708	88921	33450	8112	37154	31381	
Pendiente 10-40%	48670	28057	144260	91200	47540	97641	106700	91200	88200	146362	110975	119566	6715	181993	109546	230395	69621	192472	96928	
Pendiente mayor a 40%	9530	15380	113800	101500	91850	188332	70850	101500	83200	52976	18945	64551	8924	73327	101000	83720	333890	503154	131071	
Longitud	360	360	660	610	725	1040	1517	1380	864	273	310	330	110	460	795	708	650	659	520	
Altura mayor	3488	3560	3435	3419	3425	3467	3410	3407	3400	4155	4149	4382	0	4283	4411	2895	2555	2660	3401	
Altura menor	3433	3515	3346	3333	3341	3306	1833.5	3295	3305	4128	4117	4366	0	4225	4293	2740	2445	2587.5	3285	
Variación de altura	55	45	89	86	84	161	1576.5	112	95	27	32	16	0	58	118	155	110	72.5	116	
Pendiente	15.7	12	13.5	14.2	11.5	15.5	12.55	8.1	10.89	9.7	10.31	5	4.5	12.4	14.83	22	17	22	22.75	
Área de cimentación (2D)	52660	27740	112376	0	186080	129550	180600	22080	234222	11200	245400	117480	148300	4120	229550	249600	284100	284100	453100	191900
Df promedio (m)	1.3	2.5	5	8.2	2	1.9	2.9	9.9	5.8	3	1.2	0.7	0.9	0.9	0.4	1.5	1.5	1.3	2.3	
Área de nivelación	51210	46920	246500	197140	197100	315100	157350	197020	197025	258059	154631	254230	72050	252817	272869	313151	322356	597787	225372	
Pendiente menor a 10%	21100	12550	20500	43840	43850	52950	24650	43830	43830	131228	71689	105500	47523	21503	90763	143183	141991	91000	62550	
Pendiente 10-40%	17500	24050	126900	62400	62400	137200	95500	62355	62355	88334	56647	106128	11030	176630	80723	66085	54933	164116	70423	
Pendiente mayor a 40%	12610	10320	99100	90900	90850	124950	37200	90835	90840	38497	26295	42602	13497	54684	101383	103883	125432	342671	92399	
Área de nivelación (sin acceso)	41460	35255	228450	149520	142440	259870	135070	100748	149520	256313	126097	209033	56169	219772	250424	233760	227097	494603	162930	
Pendiente menor a 10%	19620	10890	18700	34920	34920	45400	19670	34920	34920	130425	61994	95487	44153	15871	88698	121024	117883	69092	46224	

CHAPTER NAME

PROYECTO	1110.1 0.05	1110.10. 10	1110.1. 0.14	1110.1. 0.18	1112.1. 0.21	1112.1. 0.32	1112.1. 0.48	1112.1. 0.61	1112.1. 0.65	1113.1. 0.27	1113.1. 0.39	1116.10. 17 3A	1116.10. 17 3B	1116.10. 17 4	1116.10. 17 5	1408.1 0.07	1408.1 0.26	1408.1 0.32	1112.1 0.87	
Pendiente 10-40%	15740	22290	125950	60400	60420	121710	90700	60408	60400	89123	49988	97722	6543	176201	76712	61547	46607	164972	67270	
Pendiente mayor a 40%	6100	2075	83800	54200	47100	92760	24700	5420	54200	36765	14115	15824	5473	27700	85014	51189	62607	260539	49436	
Camino perimetral	590	575	1168	1120	920	1785	573	750	884	1960	1150	2162	825	1580	2021	2053	1958	1653	1336	
Longitud perimetral	590	575	1168	1120	920	1785	573	750	884	1960	1150	2162	825	1580	2021	2053	1958	1653	1336	
Ancho de vía	4	3.5	3	3	6	6	6	5.5	5	8	8	6	6	6	3	6.5	4.5	8.75	5.6	
Ver	1.2	1.2	4.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2/1.7	1/1.5	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
Pendiente menor a 10%	305	575	385	900	270	834	380	450	414	1960	1150	1350	715	715	1390	1676	1770	3030	1186	
Pendiente 10 a 20%	200	0	280	0	585	661	666	0	470	0	0	360	0	545	245	250	0	220	150	
Pendiente mayor a 20%	85	0	503	220	65	290	100	300	0	0	0	452	110	320	386	127	188	56	0	
Corte en cimentación (m ³)	62832	313560	131626 0	168512 3	278410	802890	563200	341467 9	134200	754930	149050	108460	25685	490886	88627	479200	462165	143529	468710	
Corte en nivelación y acceso (m ³)	38137	98376	379753	151096	497420	725780	258555	311366	64130	541640	264000	169400	55176	152845	135080	164280 0	304540 5	790352	712250	
Relleno en nivelación y acceso (m ³)	147477	384216	285340	494802	28292	291489	51205	187044 0	66220	20020	22495	407000	163042	363682	109780	139340 0	199072 5	344080	736780	
Relleno en overliner (m ³)	21978	30982	96250	458759 .4	63146	141086	104060	151800	57200	517781	207350	113520	54087	115159	113872	123640	247203	376189	106700	
Tuberías de colección (m)	3586	6312	12038. 4	10150. 8	3395	6270	5201	8173	5173	22517	9790	13532.4	6514.2	11530.0 5	10930.5	16907	16463	6963	3837	
Tuberías de subdrenaje (m)	1353	2256	6314	10269. 6	2206	4243.5	2482	3472	2435	12507	7887	1518.3	0	3912.3	4265.1	3392.4	2017	2329	3478	
GCL (m ²)	8326	0	70070	21450	12202	26013	0	3300	0	281435	108350	0	0	0	140259	0	15750	69584	12650	
Geocompuesto (m ²)	0	0	70070	0	12202	26013	0	3300	0	80190	17600	0	0	0	88809	0	14374. 5	61688	0	
Geomembrana LLDPE 2.0 mm (m ²)	58742	83028	266200	163152	0	79695	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128700	0	0	0	
Geomembrana LLDPE 1.5 mm (m ²)	0	0	0	0	145815	225170	94160	262900	95260	281435	141350	225330	108024	231682. 5	270259. 5	141900	232890	215881	180400	
Geotextil no tejido 270 g/m ² (m ²)	0	0	0	0	0	0	0	1650	0	201245	90750	0	0	0	40425	0	35458. 5	60900	0	
Variación de altura	Corte en cimentación (USD)	278019 .5	159602 0.4	661081 4.1	827075 3.37	161477 8	273866 6.7	246415 4.88	159991 90.9	588368 .88	493490 .85	891899 .8	645741.8	157848.9	308115 9.62	516711. 25	169064 0	275934 2.85	870876 3.2	
	Corte en nivelación y acceso (USD)	435905 .91	500733. 84	194819 9.99	744903 .28	373562 4.2	286683 1	133155 8.25	156034 7.14	330269 .5	658716 3	440352 0	880708.4	294479.1 3	222663 3.2	764063. 74	899325 6	257834 61.1	780556 8.46	344753 5.3
	Relleno en nivelación y acceso (USD)	193636 8.28	395840 5.08	270545 2.31	483502 2.72	214812 .4	162086 3.2	411176 .15	451731 7.2	838844 .6	307907 .6	271564 .15	4715961. 8	2518457. 92	342659 2.84	119891 1.12	711813 3	125849 27	378770 9.64	495126 6.1
	Relleno en overliner (USD)	287032 .68	404624. 92	125702 5	538147 6.72	317624 .38	709662 .58	814789 .8	115216 2	447876 4.47	792204 9.3	296510 5	1624471. 2	773984.9 7	162489 3.49	144628 .58	707977 .6	211629 8.8	321265 4.06	990176
	Tuberías de colección (USD)	10816. 3	19603.3 2	158137 .91	63046. 1	6727.3 1	13771. 56	156430 .61	27953. 71	187718 .62	323040 .08	251218 2	132838.2 1	63529.57 72	304404. 293	208334. 763	71867. 73	136408 .27	33841. 04	21974. 62
Variación de altura	Tuberías de subdrenaje (USD)	4079.5 7	6311.88 88	38834. .96	189265 3494.8	10196. 13	20391. 76	9478.8 28	19192. .48	157670 .82	90756. 5	15587.14 5	0	42253.0 92	48955.0 95	8508.4 56	14662. 99	6311.0 6	14707. 36	

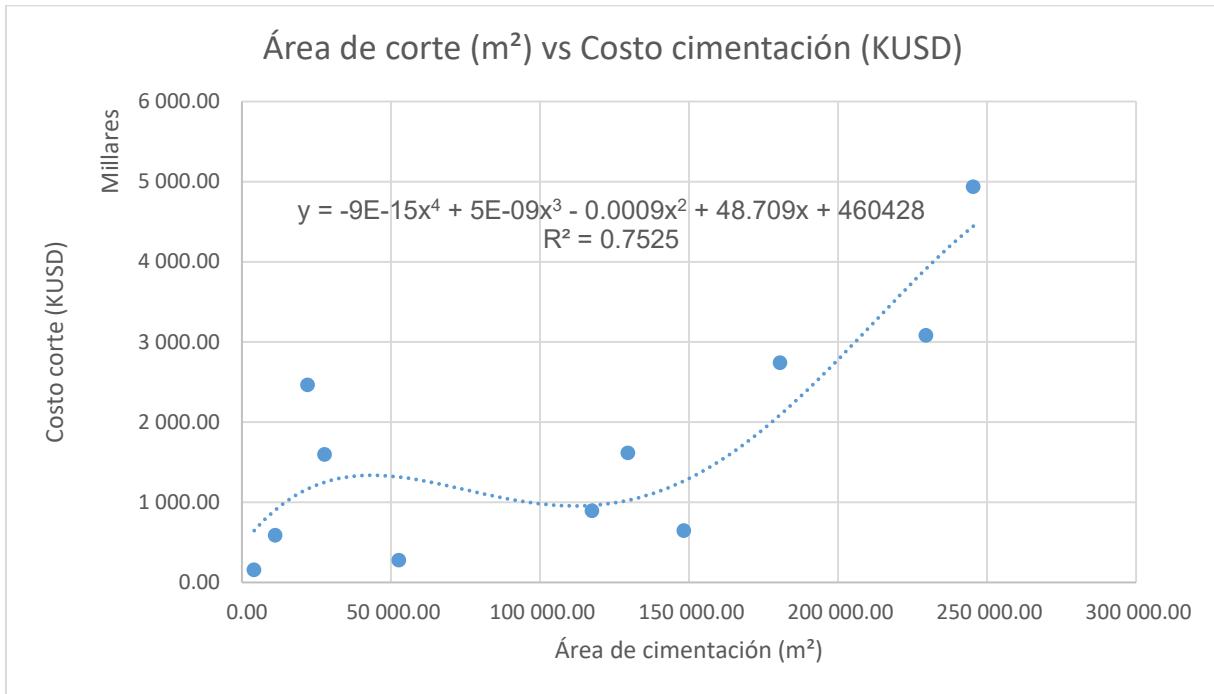
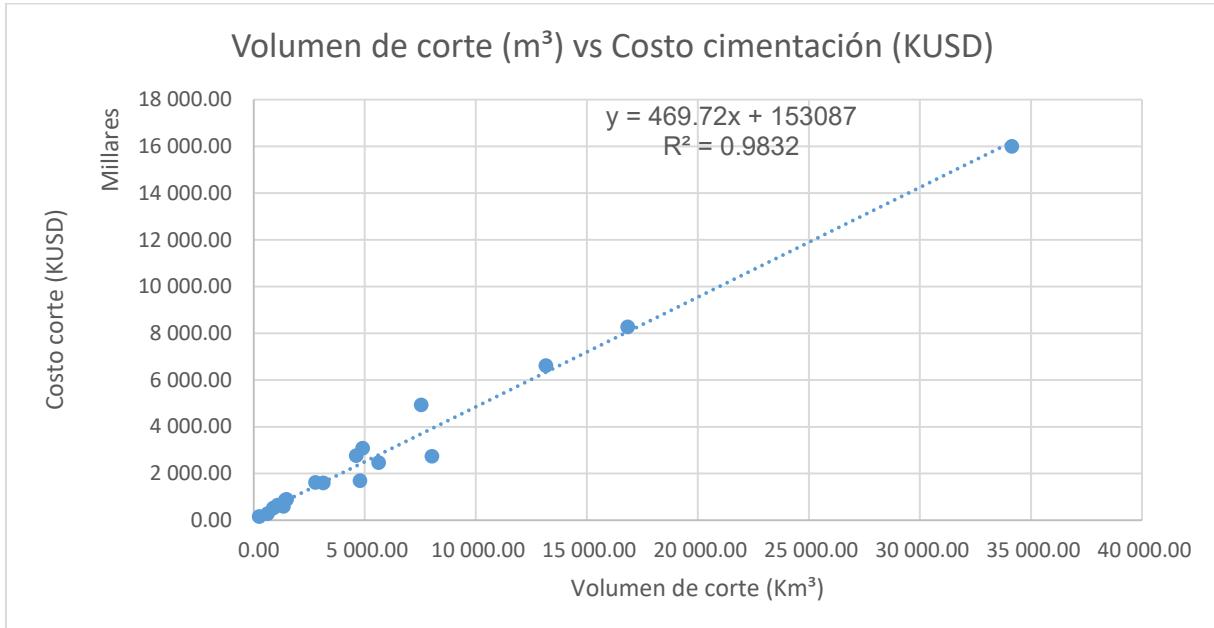
HEAP LEACH SOLUTIONS 2022 • SPARKS, USA

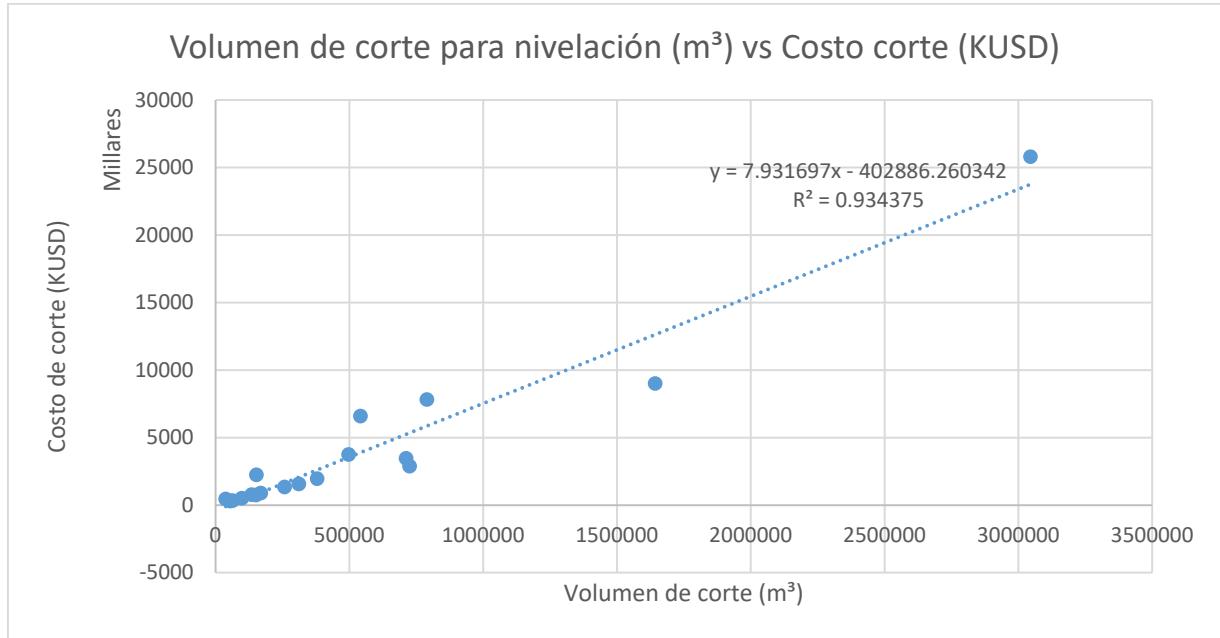
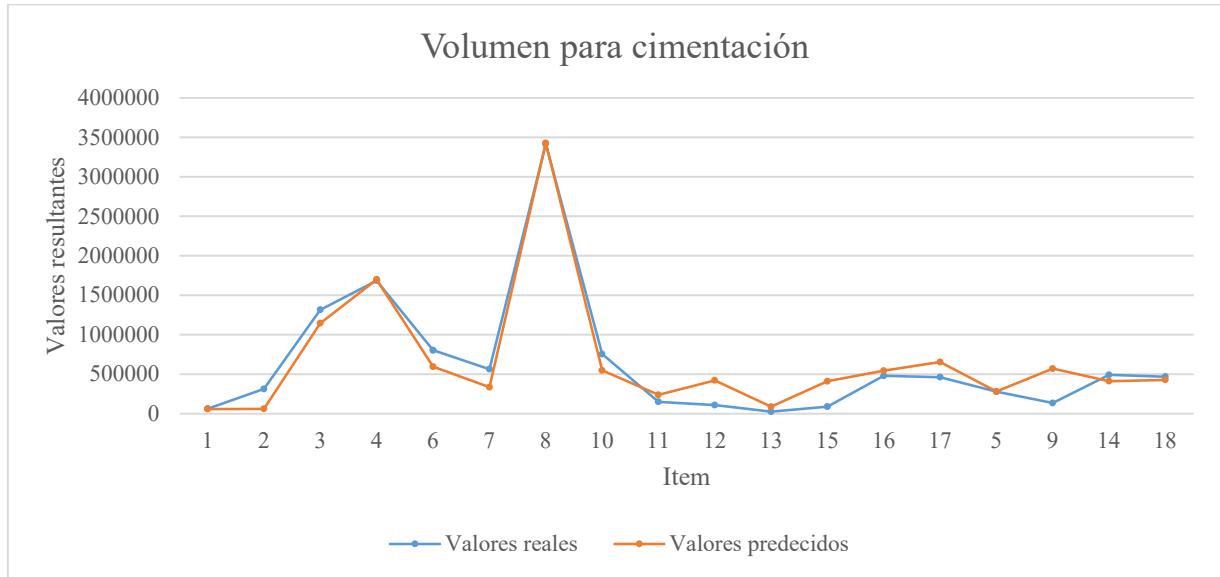
PROYECTO	1110.1 0.05	1110.10. 10	1110.1. 0.14	1110.1. 0.18	1112.1 0.21	1112.1 0.32	1112.1 0.48	1112.1 0.61	1112.1 0.65	1113.1 0.27	1113.1 0.39	1116.10. 17 3A	1116.10. 17 3B	1116.10. 17 4	1116.10. 17 5	1408.1 0.07	1408.1 0.26	1408.1 0.32	1408.1 0.87	
GCL (USD)	6993.8 4	0	58858. 8	15658. 5	5124.8 4	146193 .06	0	1584	0	233591 .05	89930. 5	0	0	0	166908. 21	0	7560	33400. 32	21758	
Geocompuesto (USD)	0	0	58858. 8	0	21841. 58	79339. 65	0	1584	0	66557. 7	14608	0	0	0	105682. 71	0	6899.7 6	29610. 24	0	
Geomembrana LLDPE 2.0 mm (USD)	255527. 7	361171. 8	115797 0	220255 .2	0	398475	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	173745	0	0	0
Geomembrana LLDPE 1.5 mm (USD)	0	0	0	0	772819 .5	119340 1	127116	354915	128601	650114 .85	326518 .5	520512.3	249535.4 4	535186. 575	624299. 445	191565	314401 .5	291439 .35	243540	
Geotextil no tejido 270 g/m ² (USD)	0	0	0	0	0	0	0	676.5	0	599710 .1	270435	0	0	0	120466. 5	0	0	22533	0	
Geotextil no tejido 540 g/m ² (USD)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	563.95 5	0	0	
Geomembrana (USD)	255527. 7	361171. 8	115797 0	220255 .2	772819 .5	159187 6	127116	354915	128601	650114 .85	326518 .5	520512.3	249535.4 4	535186. 575	624299. 445	365310	314401 .5	291439 .35	243540	
Revestimiento (USD)	262521 .54	361171. 8	127568 7.6	235913 .7	799785 .92	181740 8.71	127116	358759 .5	128601	154997 3.7	701492	520512.3	249535.4 4	535186. 575	101735 6.87	365310	329425 .215	376982 .91	265298	
SUMINISTRO	Tuberías de colección (USD)	18154. 95	55398.3	349743 .11	122966 .45	35265. 3	82216. 2	129752 .84	97127. 8	182854 .97	353133 .2	274054	120095.2	42481.13 82	150043. 31	182019. 45	142435 .92	313871 .2	178042 73221. 2	
	Tuberías de subdrenaje (USD)	15090. 57	20867.1 6	124585 .72	210916 .53	14502	65857. 05	44787. 7	49693. 5	44384. 7	193787	156521 .2	28013.11 45	0	33778.4 1	56724.1 99	29194	60032	14515. 2	53984. 7
	GCL (USD)	50372. 3	0	423923 .5	106177 .5	70527. 56	150355 .14	0	21417	0	154789 2.5	595925	0	0	0	848566. 95	0	77962. 5	398023 .6	77924
	Geocompuesto (USD)	0	0	348948 .6	0	87244. 3	185992 .95	0	23595	0	400950	88000	0	0	0	488449. 5	0	77478. 555	644641 .5	0
	Geomembrana LLDPE 2.0 mm (USD)	308395 .5	435897	139755 0	538401 .6	0	255024	0	0	0	0	0	0	0	0	474259 .5	0	0	0	0
	Geomembrana LLDPE 1.5 mm (USD)	0	0	0	0	641586	990748	567596 .48	130135 .5	574227 .28	140717 5	706750	1053417. 75	505012.2	108311 6.75	126346 3.16	702405	108876 0.75	111610 4.3	747577 .6
	Geotextil no tejido 270 g/m ² (USD)	0	0	0	0	0	0	0	1996.5	0	251556 .25	113437 .5	0	0	0	48914.2 5	0	0	70339. 5	0
	Geotextil no tejido 540 g/m ² (USD)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3177.4 0.05	0	0	0	
	Geomembrana (USD)	308395 .5	435897	139755 0	538401 .6	641586	124577. 2	567596 .48	130135 .5	574227 .28	140717 5	706750	1053417. 75	505012.2	108311 6.75	126346 3.16	117666 4.5	108876 0.75	111610 4.3	747577 .6
	Revestimiento (USD)	358767 .8	435897	217042 2.1	644579 .1	799357 .86	158212 0.09	567596 .48	134836 3.5	574227 .28	360757 3.75	150411 2.5	1053417. 75	505012.2	108311 6.75	264939 3.86	117666 4.5	124737 9.21	222910 8.9	825501 .6
TOTAL	Corte en cimentación (USD)	278019 .5	159602 0.4	661081 4.1	827075 3.37	161477 8	273866 6.7	246415 4.88	159991 90.9	588368 .88	493490 0.85	891899 .8	645741.8	157848.9	308115 9.62	516711. 25	169064 0	275934 2.85	870876 3.2	
	Corte en nivelación y acceso (USD)	435905 .91	500733. 84	194819 9.99	744903 .28	373562 4.2	286683 1	133155 8.25	156034 7.14	330269 .5	658716 3	440352 0	880708.4	294479.1 3	222663 3.2	764063. 74	899325 6	257834 61.1	780556 8.46	344753 5.3
	Relleno en nivelación y acceso (USD)	193636 8.28	270545 5.08	483502 2.31	214812 2.72	162086 .4	411176 3.2	451731 .15	838844 7.2	307907 .6	271564 .15	4715961. 8	2518457. 92	342659 2.84	119891 1.12	711813 3	125849 2.27	378770 9.64	495126 6.1	
	Relleno en overliner (USD)	287032 .68	404624. 92	125702 5	538147 6.72	317624 .38	709662 .58	814789 .8	115216 2	447876 4.47	792204 9.3	296510 5	1624471. 2	773984.9 7	162489 3.49	144628 8.58	707977 8.8	211629 4.06	321265 990176	
	Tuberías de colección (USD)	28971. 25	75001.6 2	507881 .02	186012 .55	41992. 6	95987. 76	286183 .45	125081 .51	370573 .59	676173 .28	525272 .54	252933.5 54	106010.7 11	454447. 743	390354. 41	214303 .65	450279 .47	211883 .04	95195. 82

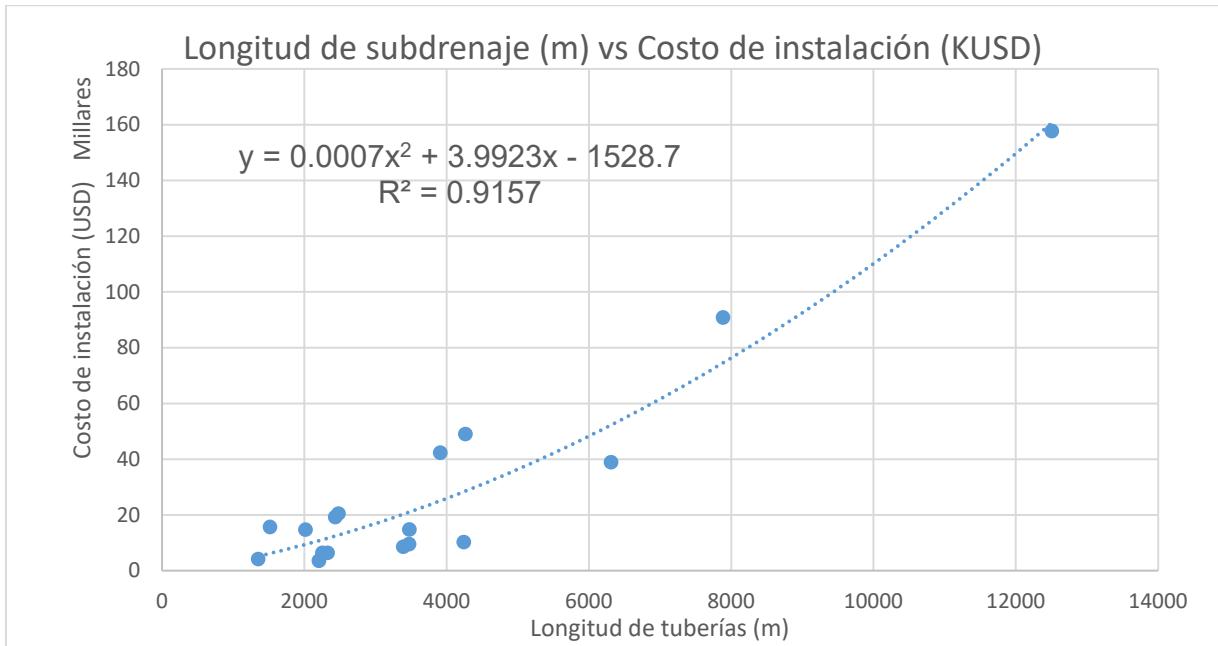
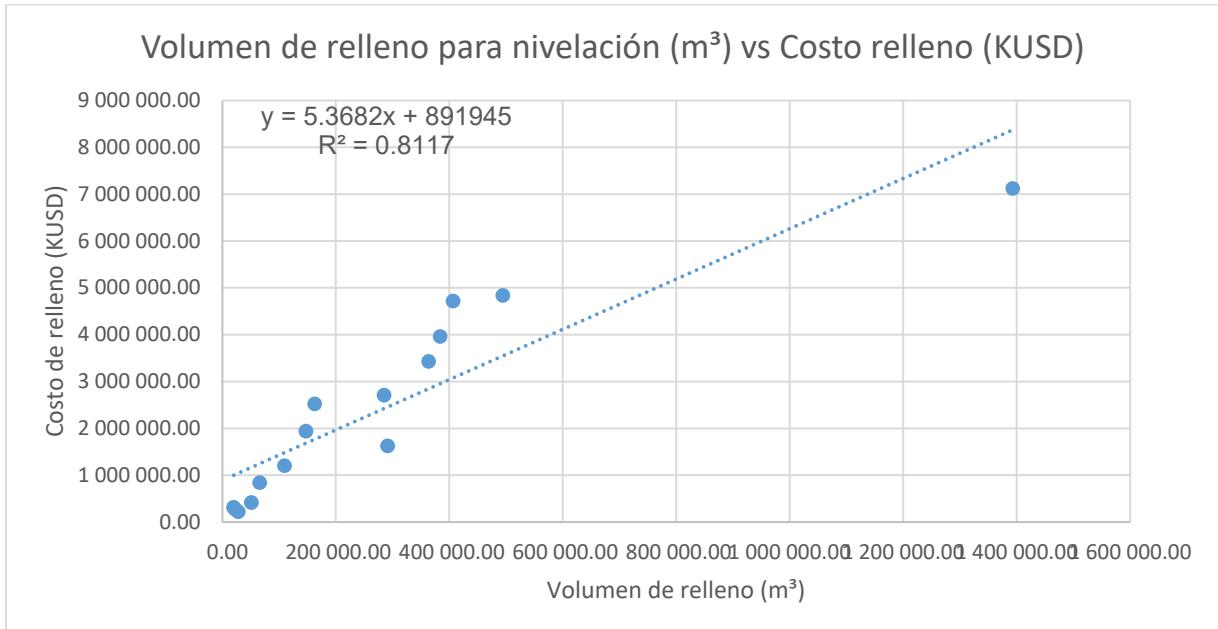
CHAPTER NAME

PROYECTO	1110.1 0.05	1110.10. 10	1110.1 0.14	1110.1 0.18	1112.1 0.21	1112.1 0.32	1112.1 0.48	1112.1 0.61	1112.1 0.65	1113.1 0.27	1113.1 0.39	1116.10. 17 3A	1116.10. 17 3B	1116.10. 17 4	1116.10. 17 5	1408.1 0.07	1408.1 0.26	1408.1 0.32	1112.1 0.87
Tuberías de subdrenaje (USD)	19170. 14	27179.0 4	163420. .6	400182. .49	17996. 8	76053. 18	65179. 46	59172. 3	63576. 98	351457. .48	247278. .02	43600.25 95	0	76031.5 02	105679. 294	37702. 456	74694. 99	20826. 26	68692. 06
GCL (USD)	57366. 14	482782. 0	121836. .3	75652. 4	296548. .2	0	23001	0	178148. 3.55	685855. .5	0	0	0	101547. 5.16	0	85522. 5	431423. .92	99682	
Geocompuesto (USD)	0	0	407807. .4	0	109085. .88	265332. .6	0	25179	0	467507. .7	102608	0	0	0	594132. 21	84378. 315	674251. .74	0	
Geomembrana LLDPE 2.0 mm (USD)	563923. .2	797068. 8	255552. 0	758656. .8	0	653499	0	0	0	0	0	0	0	0	0	648004. .5	0	0	0
Geomembrana LLDPE 1.5 mm (USD)	0	0	0	0	141440. 5.5	218414. 9	694712. .48	165627. 0	702828. .28	205728. 9.85	103326. 8.5	1573930. 05	754547.6. 4	161830. 3.33	188776. 2.61	893970. 2.25	140316. 3.65	140754. .6	991117
Geotextil no tejido 270 g/m ² (USD)	0	0	0	0	0	0	0	2673	0	851266. .35	383872. .5	0	0	0	169380. 75	0	0	92872. .5	0
Geomembrana (USD)	563923. .2	797068. 8	255552. 0	758656. .8	141440. 5.5	283764. 8	694712. .48	165627. 0	702828. .28	205728. 9.85	103326. 8.5	1573930. 05	754547.6. 4	161830. 3.33	188776. 2.61	154197. 4.5	140316. 2.25	140754. 3.65	991117. .6
Revestimiento (USD)	621289. .34	797068. 8	344610. 9.7	880492. .8	159914. 3.78	339952. 8.8	694712. .48	170712. 3	702828. .28	515754. 7.45	220560. 4.5	1573930. 05	754547.6. 4	161830. 3.33	366675. 0.73	154197. 4.5	157680. 4.43	260609. 1.81	109079. .9.6
CAPEX (USD)	360675. 7.1	735903. 3.7	166389. 02.7	206988. 43.9	754197. 2.16	115075. 93.2	606775. 4.47	251203. 94	334233. 7.83	259371. 99	115102. 43.5	9737347. 06	4605329. 27	125080. 61.7	808875. 9.12	203039. 87.2	453458. 08.6	185156. 09.3	130244. .08.1
CAPEX (KUSD)/CAPACIDAD (Mt)	2003.7 5394	11793.3 2324	1230.6 8807	3066.4 954	696.39 6321	513.73 184	266.36 3234	608.83 1654	182.44 2021	840.47 9552	1185.4 0098	458.4438 35	670.3536 06	823.982 985	662.470 035	1837.4 6491	4167.8 1329	411.73 2472	2218.8 0887
CAPEX (KUSD)/VOLUMEN (MM ³)	3211.7 1603	18869.3 1718	1969.1 0091	5519.6 9171	1183.9 8307	873.11 0259	452.81 7498	1035.0 389	310.04 9891	1411.9 3244	1991.3 916	724.5049 9	1058.696 38	1301.56 73	1046.41 127	3123.6 9034	7085.2 826	733.87 2742	3775.1 9075
Movimiento de tierras nivelación (m ³)	185614	482592	665093	645898	525712	101726 9	218180 309760	6	130350	561660	286495	576400	218218	516527	244860	303620 0	503613 0	113443 2	144903 0
Movimiento de tierras nivelación (USD)	237227. 4.19	445913. 8.92	465365. 2.3	557992. 6	395043. 6	448769. 4.2	174273. 4.4	607766. 4.34	116911. 4.1	689507. 0.6	467508. 4.15	5596670. 2	2812937. 6.04	565322. 4.86	196297. 161113	383683. 88.1	115932. 78.1	839880. .1.4	

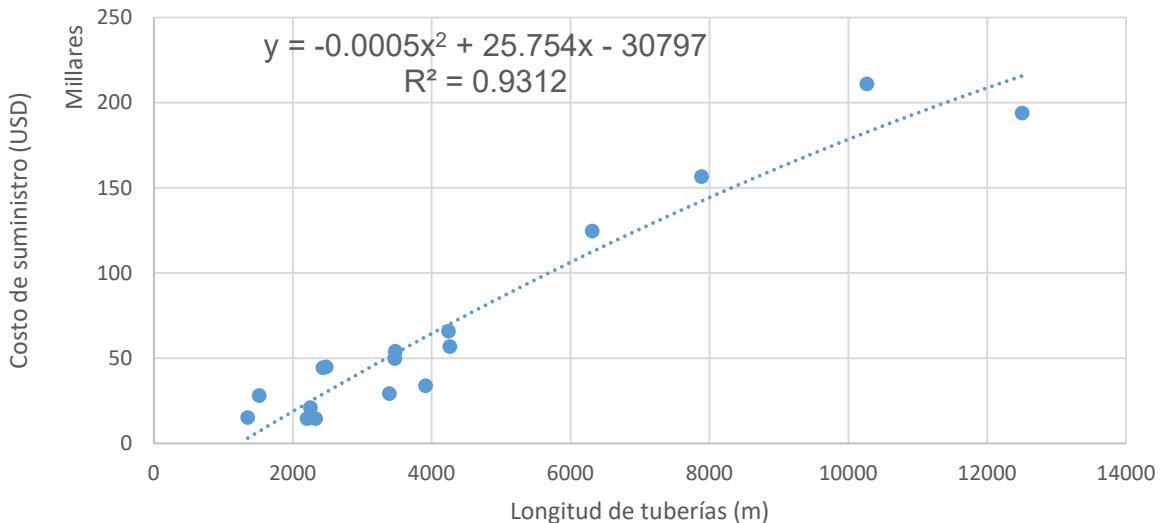
Gráficas de correlación







Longitud de subdrenaje (m) vs Costo de suministro (KUSD)



Área revestida <10% vs Longitud de tuberías (m)

