



# Estudio técnico-económico para la estabilización de suelos mejorados con cemento, en el distrito de Sargento José Félix López

Mariam Vanessa Rolón<sup>a</sup>, Tania Elizabeth Mendoza Núñez<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad Nacional de Concepción, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas, Paraguay

## Resumen

La investigación se enmarca en un estudio comparativo para verificar si los suelos cumplen con los requisitos necesarios para ser mezclados con cemento. El objetivo general consistió en realizar un estudio técnico-económico para la estabilización de suelos mejorados con cemento en el distrito de Sargento José Félix López. Las características metodológicas resaltantes fueron el enfoque cuantitativo y el diseño experimental, mediante el cual se obtuvieron los resultados a través de ensayos de laboratorio realizados en el laboratorio de la empresa CONSTRUPAR S.A, ubicado en el distrito de Sargento José Félix López, entre los meses de agosto y septiembre del año 2021. La evaluación del material consistió en verificar si los suelos cumplían con los requisitos necesarios para ser mezclados con cemento. Para ello, se realizaron análisis en el laboratorio utilizando patrones preestablecidos, con el fin de seleccionar aquellos suelos aptos que proporcionarían la resistencia necesaria para su posterior uso. Con base en esta selección, se determinó la dosificación adecuada de la mezcla en términos de peso y/o volumen de los materiales suelo-cemento, de manera que satisficiera las condiciones de resistencia y durabilidad definidas en esta investigación. A partir de los resultados, se pudo concluir que el Suelo A-4, con un contenido de 3,5 % de Cemento Yguazú, es el más apto para su utilización en el diseño en la zona de estudio, Sargento José Félix López.

*Palabras Clave:* Suelo, cemento, técnico-económico, estabilización, costo-beneficio.

## 1. Introducción

El suelo-cemento, como material de construcción, desempeña un papel primordial y económico en diversas aplicaciones, como la elaboración de ladrillos, bloques, muros, pisos, subbases para pavimentación, pistas de aterrizaje, entre otros. Este material se obtiene mediante una mezcla compactada y homogénea de suelo, cemento y agua, en proporciones determinadas según una dosificación racional. Es fundamental comprender las características del suelo con el que se trabaja para obtener resultados óptimos (Betancourt & Bello, 2016).

El suelo-cemento se ha convertido en un material de construcción relevante que requiere, además de la caracterización de las materias primas, el desarrollo integral de una tecnología constructiva, tanto en viviendas como en obras viales, con un amplio uso en diversos países (Toirac, 2008).

En el contexto de este trabajo de investigación, se enfocará en la aplicación de la técnica de suelo-cemento en el ámbito vial. Esta técnica implica agregar un porcentaje determinado de cemento al suelo con el objetivo de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Después de la mezcla, se somete a un proceso de compactación, resultando en una capa de material densa que presenta una mayor resistencia y estabilidad frente a las condiciones climáticas y los procesos de meteorización que

afectan al pavimento (Gavilanes, 2015).

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de optimizar la estabilización de suelos mediante la selección adecuada de los tipos de suelos aptos para la mezcla de suelo-cemento. Al identificar los suelos que cumplen con los requisitos de resistencia mecánica y humedecimiento-secado permisible, se puede lograr una construcción eficiente y con un menor consumo de cemento. Esto contribuirá a reducir los costos y mejorar las condiciones del suelo en el distrito de Sargento José Félix López.

El objetivo principal del presente trabajo es *realizar un estudio técnico-económico para la estabilización de suelos mejorados con cemento en el distrito de Sargento José Félix López*. Para lograrlo se han propuesto los siguientes objetivos específicos:

- Analizar las propiedades y características físicas y mecánicas de los suelos del distrito de Sargento José Félix López, con el fin de identificar los suelos aptos para la mezcla de suelo-cemento.
- Evaluar la resistencia mecánica mínima de 15 kg/cm<sup>2</sup> y el humedecimiento-secado permisible para seleccionar el tipo de suelo mejorado con cemento que cumpla con estos requisitos.

- Realizar un análisis técnico-económico para determinar la viabilidad de los especímenes de suelos mejorados con cemento en términos de costos y beneficios.

Estos objetivos están alineados con la justificación de la investigación, ya que buscan contribuir al conocimiento científico sobre el comportamiento de los suelos en el área de estudio y facilitar la selección de la mezcla más adecuada para optimizar los recursos y mejorar las condiciones del suelo en el distrito de Sargento José Félix López

## 2. Metodología

### Enfoque

Se emplea un enfoque cuantitativo en esta investigación, que permite obtener un conocimiento confiable de la realidad a través de la recolección y análisis de datos. Se basa en la medición numérica, el conteo y el uso de la estadística para establecer patrones de comportamiento precisos en una población.

### Diseño de Investigación

El diseño utilizado es experimental, ya que se aplicó la técnica de suelo-cemento para determinar su eficiencia técnica y económica. Se realizó la manipulación deliberada de las variables por parte de los investigadores.

### Población

La población seleccionada para este estudio fue el distrito de Sargento José Félix López, específicamente en el área de Puentesío. Las muestras se tomaron en las cercanías de la obra, ubicada en el tramo Bella Vista Norte - Pastoril - Curusu Eva - Puentesío, en los departamentos de Amambay y Concepción.

### Muestra

La muestra estudiada consistió en un total de 93 probetas cilíndricas de suelo. Se trabajaron 90 probetas con diferentes adiciones de dos tipos de cemento (3 %, 3,5 % y 4 %) en cada tipo de suelo, y 3 probetas correspondieron a suelo natural. Estas cantidades se determinaron de acuerdo con las normativas consultadas. Se detallan las cantidades en las siguientes tablas:

Tabla 1: Cantidad de probetas según tipo de suelo

Tipo de suelo		Cantidad
Suelo solo	A-2-4	1
Cemento Vallemí	A-2-4 + 3 %	5
	A-2-4 + 3,5 %	5
	A-2-4 + 4 %	5
Cemento Yguazú	A-2-4 + 3 %	5
	A-2-4 + 3,5 %	5
	A-2-4 + 4 %	5
<b>Total</b>		<b>31</b>

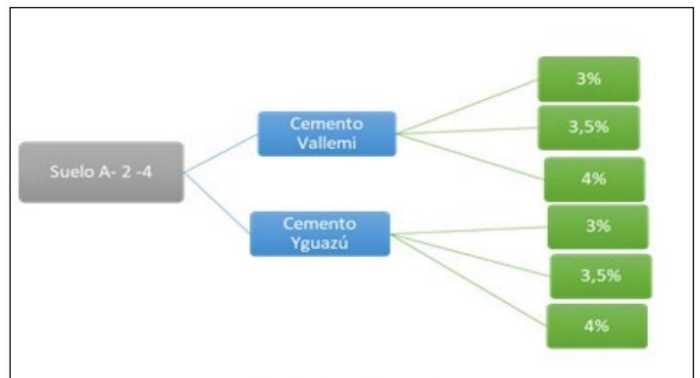
Tipo de suelo		Cantidad
Suelo solo	A-4	1
Cemento Vallemí	A-4 + 3 %	5
	A-4 + 3,5 %	5
	A-4 + 4 %	5
Cemento Yguazú	A-4 + 3 %	5
	A-4 + 3,5 %	5
	A-4 + 4 %	5
<b>Total</b>		<b>31</b>

Tipo de suelo		Cantidad
Suelo solo	A-6	1
Cemento Vallemí	A-6 + 3 %	5
	A-6 + 3,5 %	5
	A-6 + 4 %	5
Cemento Yguazú	A-4 + 3 %	5
	A-6 + 3,5 %	5
	A-6 + 4 %	5
<b>Total</b>		<b>31</b>

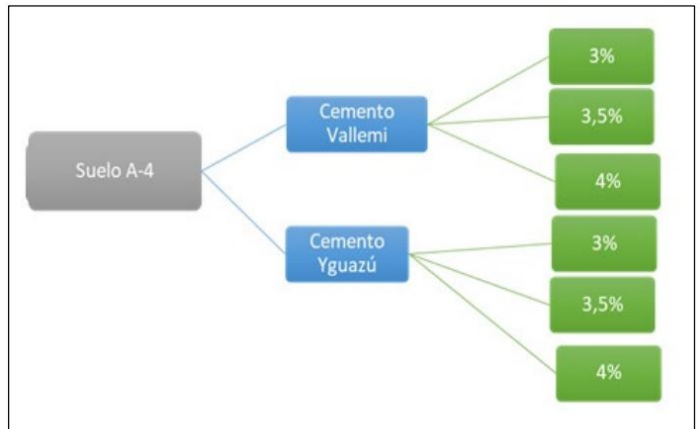
Fuente: Elaboración propia

Figura 1: Suelo A-2-4



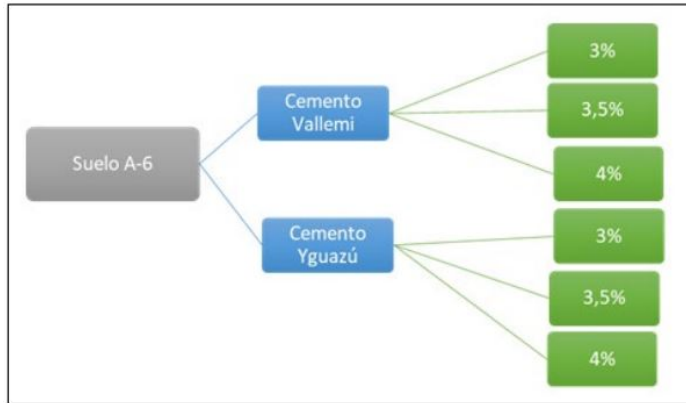
Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Suelo A-4



Fuente: Elaboración propia

Figura 3: Suelo A-6



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Ensayo de Límites de Atterberg, suelo A – 2 – 4.

INFORME DE RESULTADO DE ENSAYO					
Ensayo De Límites de Atterberg.					
<b>PROYECTO:</b>			<b>FECHA:</b>		
<b>PROGRESIVA:</b>			<b>CAPA:</b>		
<b>MUESTRA: A-2-4</b>					
LÍMITE LÍQUIDO					
1	Cápsula	N°	1	3	
2	Golpes	N°	25	28	
3	Peso Cáps. + Suelo Húmedo	gr.	33,80	32,5	
4	Peso Cáps. + Suelo Seco	gr.	30,5	29,3	
5	Peso Agua	(3 - 4) gr.	3,3	3,2	
6	Peso Cápsula	gr.	11,80	10,80	
7	Peso Suelo Seco	(4 - 6) gr	18,70	18,50	
8	<b>HUMEDAD</b>	5/7 * 100 %	<b>17,6</b>	<b>17,3</b>	
9	Factor de Corrección		1,000	0,985	
10	Humedad Corregida	%	17,7	17,6	
11	<b>Humedad Promedio</b>	%	<b>17,6</b>		
LÍMITE PLÁSTICO					
1	Cápsula	N°	5	6	
2	Peso Cáps. + Suelo Húmedo	gr.	21,80	22,3	
3	Peso Cáps. + Suelo Seco	gr.	20,60	21,00	
4	Peso Agua	(2 - 3) gr.	1,20	1,30	
5	Peso Cápsula	gr.	11,50	11,60	
6	Peso Suelo Seco	(3 - 5) gr	9,1	9,4	
7	<b>HUMEDAD</b>	4/6 * 100 %	<b>13,2</b>	<b>13,8</b>	
<b>GRANULOMETRÍA</b>			<b>RESULTADOS:</b>		
Pas. # 10: 100 %			LL = 17,6 %		
Pas. # 40: 83,5 %			LP = 13,5 %		
Pas. # 200: 31,9 %			IP = 4,1 %		
<b>Observación:</b>					
<b>Clasificación: A-2-4. I.G: 0</b>					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Ensayo de Límites de Atterberg, suelo A – 4.

INFORME DE RESULTADO DE ENSAYO					
Ensayo De Límites de Atterberg.					
<b>PROYECTO:</b>			<b>FECHA:</b>		
<b>PROGRESIVA:</b>			<b>CAPA:</b>		
<b>MUESTRA: A-4</b>					
LÍMITE LÍQUIDO					
1	Cápsula	N°	1	3	
2	Golpes	N°	22	26	
3	Peso Cáps. + Suelo Húmedo	gr.	30,20	30,4	
4	Peso Cáps. + Suelo Seco	gr.	27,2	27,3	
5	Peso Agua	(3 - 4) gr.	3	3,1	
6	Peso Cápsula	gr.	11,80	11,10	
7	Peso Suelo Seco	(4 - 6) gr	15,40	16,20	
8	<b>HUMEDAD</b>	5/7 * 100 %	<b>19,5</b>	<b>19,1</b>	
9	Factor de Corrección		1,016	0,995	
10	Humedad Corregida	%	19,2	19,2	

### Instrumentos y Técnicas de Recolección de Datos

Se utilizaron formatos de recopilación de datos de los ensayos de laboratorio como guía de observación, con el fin de registrar los resultados obtenidos en cada ensayo realizado. Los tipos de suelo seleccionados se obtuvieron de la obra en Puentesíño. Se realizó un estudio de los efectos generados por la adición de cemento al suelo, y se registraron los resultados parciales obtenidos. Para el análisis de datos, se consultaron libros, normas, guías, etc., relacionados con el tema de investigación. Además, se estudió la viabilidad económica de agregar los porcentajes de cemento al suelo seleccionado.

### Procedimientos de Aplicación de Instrumento

Se llevó a cabo el reconocimiento del terreno utilizando mapas geotécnicos y se obtuvieron muestras del afirmado de la zona. Posteriormente, se realizaron ensayos de laboratorio para cada tipo de suelo, como análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, ensayo Proctor y resistencia de las probetas. Las muestras tratadas se analizaron técnicamente mediante ensayos de compresión simple y ensayos de humedecimiento-secado. Además, se realizó un análisis económico de los costos resultantes de aplicar las mezclas estudiadas en una construcción vial hipotética en el distrito de Sargento José Félix López.

### 3. Resultados

En el presente capítulo se abordan los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados en el presente trabajo de investigación.

#### Ensayo: Límites de Atterberg

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los datos tomados en el laboratorio, teniendo en cuenta las siguientes variables: la cápsula, el suelo, la humedad, agua y cantidad de golpes, así como los resultados obtenidos en cuanto a límites de Atterberg utilizando las ecuaciones (6), (7), (8) y (9) (Apéndice 1).

11	<b>Humedad Promedio</b>		%	<b>19,2</b>	
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>					
1	<b>Cápsula</b>		N°	<b>5</b>	<b>6</b>
2	Peso Cáps. + Suelo Húmedo		gr.	23,90	22,4
3	Peso Cáps. + Suelo Seco		gr.	22,50	21,20
4	Peso Agua	(2 - 3)	gr.	1,40	1,20
5	Peso Cápsula		gr.	11,60	11,60
6	Peso Suelo Seco	(3 - 5)	gr	10,9	9,6
7	<b>HUMEDAD</b>	4/6 * 100	%	<b>12,8</b>	<b>12,5</b>
<b>GRANULOMETRÍA</b>			<b>RESULTADOS:</b>		
Pas. # 10:			96,6 %	LL = 19,2 %	
Pas. # 40:			80,2 %	LP = 12,7 %	
Pas. # 200:			42,8 %	IP = 6,5 %	
<b>Observación:</b>					
<b>Clasificación: A-2-4. I.G: 8</b>					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Ensayo de Límites de Atterberg, suelo A – 6.

<b>INFORME DE RESULTADO DE ENSAYO</b>					
<b>Ensayo De Límites de Atterberg.</b>					
<b>PROYECTO:</b>					
<b>PROGRESIVA:</b>			<b>FECHA:</b>		
<b>MUESTRA: A-6</b>			<b>CAPA:</b>		
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>					
1	<b>Cápsula</b>		N°	<b>1</b>	<b>5</b>
2	Golpes		N°	22	27
3	Peso Cáps. + Suelo Húmedo		gr.	35,2	34,1
4	Peso Cáps. + Suelo Seco		gr.	30,1	29,43
5	Peso Agua		gr.	5,1	4,7
6	Peso Cápsula		gr.	11,80	12,10
7	Peso Suelo Seco		gr	18,3	17,3
8	<b>HUMEDAD</b>	5/7 * 100	%	<b>27,8</b>	<b>27,1</b>
9	Factor de Corrección			1,016	0,990
10	Humedad Corregida		%	27,4	27,4
11	<b>Humedad Promedio</b>		%	<b>27,4</b>	
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>					
1	<b>Cápsula</b>		N°	<b>11</b>	<b>12</b>
2	Peso Cáps. + Suelo Húmedo		gr.	23,70	22,7
3	Peso Cáps. + Suelo Seco		gr.	22,10	21,20
4	Peso Agua		gr.	1,60	1,50
5	Peso Cápsula		gr.	12,50	11,90
6	Peso Suelo Seco		gr	9,6	9,3
7	<b>HUMEDAD</b>	4/6 * 100	%	<b>16,7</b>	<b>16,1</b>
<b>GRANULOMETRÍA</b>			<b>RESULTADOS:</b>		
Pas. # 10:			99,7 %	LL = 27,4 %	
Pas. # 40:			93,2 %	LP = 16,4 %	
Pas. # 200:			47,5 %	IP = 11 %	
<b>Observación:</b>					
<b>Clasificación: A-6. I.G: 16</b>					

Fuente: Elaboración propia

Mediante el ensayo de límites de Atterberg se analizaron los suelos tomados de cada punto de muestreo, se obtuvieron tres tipos de suelos como el A-2-4, A-4, y A-6, para los tipos de suelos determinados se estarán trabajando y desarrollando los demás ensayos correspondientes.

### Ensayos: Humedad - Densidad (Proctor)

A continuación, se muestra la tabla de ensayos donde se determinaron la densidad seca máxima y humedad óptima de los diferentes tipos de suelos estudiados, teniendo en cuenta variables como la cápsula, el tipo de suelo y el agua agregada, utilizando las ecuaciones (10) y (11).

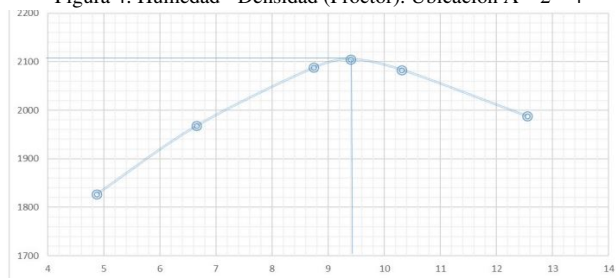
### Suelo A-2-4

Tabla 5: Humedad - Densidad (Proctor). Ubicación A – 2 – 4

<b>ENSAYO: HUMEDAD - DENSIDAD (PROCTOR)</b>						
Muestra N°:	1	Fecha:	10/08/2021	Método:	Normal	
Sondaje N°:		Operador:		N° de Molde:	1	
Profundidad:		Verificado por:		P. de Molde:	1845	
Ubicación:	A-2-4	Fiscalización:		Vol. de Molde:	903	
PUNTOS	UN	1	2	3	4	5
MOLDE N°						
Peso Molde + Suelo Húmedo	gr	3575	3740	3895	3920	3865
Peso Molde	gr	1845	1845	1845	1845	1845
Peso Suelo Húmedo	gr	1730	1895	2050	2075	2020
Vol. de Molde	cm <sup>3</sup>	903	903	903	903	903
Densidad Húmeda	kg/m <sup>3</sup>	1916	2099	2270	2298	2237
CÁPSULA N°:		20	21	22	23	24
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	gr	101,10	102,50	109,20	115,00	124,60
Peso Cápsula + Suelo Seco	gr	97,7	97,9	102,9	106,9	114,1
Peso Cápsula	gr	27,8	28,7	30,8	28,3	30,4
Peso del Agua	gr	3,40	4,60	6,30	8,10	10,50
Peso Suelo Seco	gr	69,9	69,2	72,1	78,6	83,7
Humedad	%	4,9	6,6	8,7	10,3	12,5
Densidad Seca	kg/m <sup>3</sup>	1827	1968	2088	2083	1988
					Densidad máxima Kg/m <sup>3</sup>	2105
					Humedad óptima %:	9,4

Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Humedad - Densidad (Proctor). Ubicación A – 2 – 4



Fuente: Elaboración propia

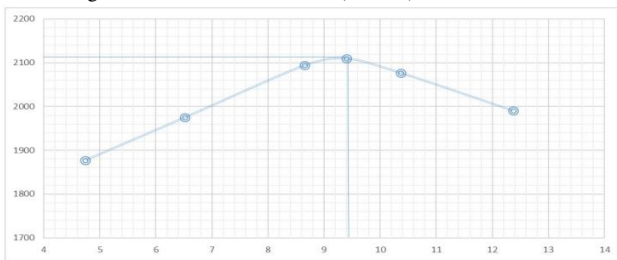
**Suelo A-4**

Tabla 6: Humedad - Densidad (Proctor). Ubicación A – 4

ENSAYO: HUMEDAD - DENSIDAD (PROCTOR)					
Muestra N°:	2	Fecha:	18/08/2021	Método:	Normal
Sondaje N°:		Operador:		N° de Molde:	1
Profundidad		Verificado por:		P. de Molde	1845
Ubicación:	A-4	Fiscalización:		Vol. de Molde	903
PUNTOS	UN	1	2	3	4
MOLDE N°					
Peso Molde + Suelo Húmedo	gr	3620	3745	3900	3915
Peso Molde	gr	1845	1845	1845	1845
Peso Suelo Húmedo	gr	1775	1900	2055	2070
Vol. de Molde	cm <sup>3</sup>	903	903	903	903
Densidad Húmeda	kg/m <sup>3</sup>	1966	2104	2276	2292
CÁPSULA N°:		15	16	17	18
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	gr	109,60	112,30	106,40	120,40
Peso Cápsula + Suelo Seco	gr	105,9	107,3	100,1	111,7
Peso Cápsula	gr	27,8	30,6	27,3	27,8
Peso del Agua	gr	3,70	5,00	6,30	8,70
Peso Suelo Seco	gr	78,1	76,7	72,8	83,9
Humedad	%	4,7	6,5	8,7	10,4
Densidad Seca	kg/m <sup>3</sup>	1877	1975	2094	2077
<b>Densidad máxima Kg/m<sup>3</sup></b>					<b>2110</b>
<b>Humedad óptima %:</b>					<b>9,4</b>

Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Humedad - Densidad (Proctor). Ubicación A – 4



Fuente: Elaboración propia

**Suelo A-6**

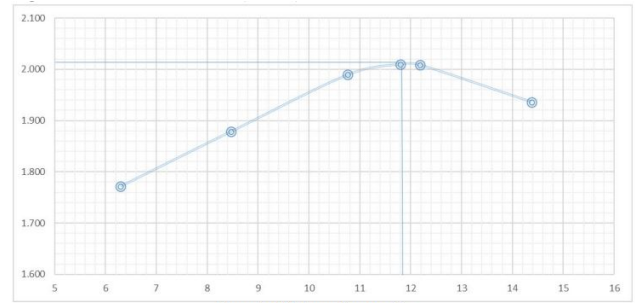
Tabla 7: Humedad - Densidad (Proctor). Ubicación A – 6

ENSAYO: HUMEDAD - DENSIDAD (PROCTOR)					
Muestra N°:	3	Fecha:	17/09/2021	Método:	Normal
Sondaje N°:		Operador:		N° de Molde:	1
Profundidad		Verificado por:		P. de Molde	1845
Ubicación:	A-4	Fiscalización:		Vol. de Molde	903
PUNTOS	UN	1	2	3	4
MOLDE N°					
Peso Molde + Suelo Húmedo	gr	3545	3685	3835	3880
Peso Molde	gr	1845	1845	1845	1845
Peso Suelo Húmedo	gr	1700	1840	1990	2035
Vol. de Molde	cm <sup>3</sup>	903	903	903	903
Densidad Húmeda	kg/m <sup>3</sup>	1883	2038	2204	2254
CÁPSULA N°:		17	18	19	20
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	gr	108,40	114,90	120,20	113,70
Peso Cápsula + Suelo Seco	gr	103,6	108,1	111,2	104,5
Peso Cápsula	gr	27,3	27,8	27,6	29
Peso del Agua	gr	4,80	6,80	9,00	9,20
Peso Suelo Seco	gr	76,3	80,3	83,6	75,5
Humedad	%	6,3	8,5	10,8	12,2
Densidad Seca	kg/m <sup>3</sup>	1771	1879	1990	2009
<b>Densidad máxima Kg/m<sup>3</sup></b>					<b>2010</b>
<b>Humedad óptima %:</b>					<b>11,8</b>

Fuente: Elaboración propia

kg/m<sup>3</sup> – 9,4 %, 2110 kg/m<sup>3</sup> - 9,4 % y 2010 kg/m<sup>3</sup> – 11,8 %, respectivamente.

Figura 6: Humedad - Densidad (Proctor). Ubicación A – 6



Fuente: Elaboración propia

**Ensayo de C.B.R.**

En la siguiente **Tabla 8**, se muestran los resultados de los ensayos de C.B.R. realizados a los distintos tipos de suelo.

En el Apéndice 3 se visualizan los resultados que fueron obtenidos a partir de las ecuaciones (13) y (14); de los cuales se resumen lo siguiente:

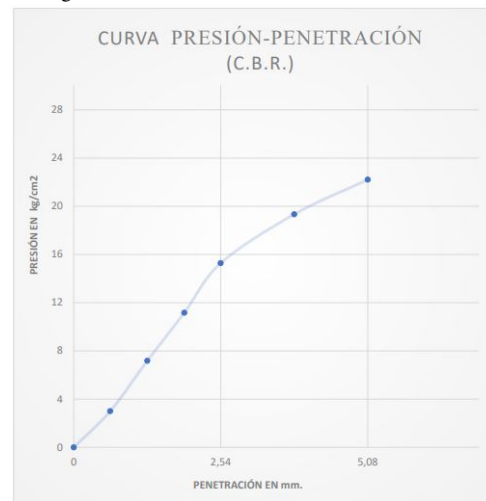
Tabla 8: Resumen del Ensayo C.B.R.

		Tipo de Suelo		
		A-2-4	A-4	A-6
<b>Expansión Final</b>	%	0.24	0.2	0.18
<b>Humedad de Moldeo</b>	%	9.4	9.4	11.8
<b>Hum. Desp. Del Ensayo</b>	%	9.7	9.8	12.3
<b>Humedad de Absorbida</b>	%	0.3	0.4	0.5
<b>C. B. R.</b>	%	21.7	20.4	6.7

Fuente: Elaboración propia

**Suelo A-2-4**

Figura 7: Curva Presión-Penetración. Suelo A-2-4



Fuente: Elaboración propia

En las figuras presentadas, **Figura 4**, **Figura 5** y **Figura 6** se muestran cómo varía la densidad máxima y la humedad óptima para los distintos tipos de suelos. Esta variación sigue una curva muy bien definida, obteniéndose para el suelo A-2-4, A-4 y A-6 una densidad máxima y humedad óptima de 2105

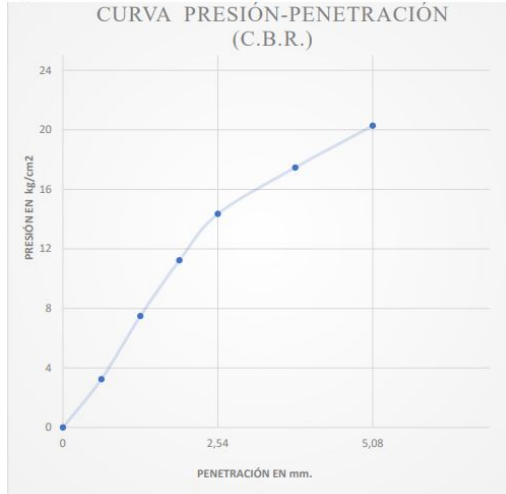
**Suelo A-4**

**Progresiva: 62 + 100**

**Tipo de Suelo: A-2-4**

**Aro: 5000**

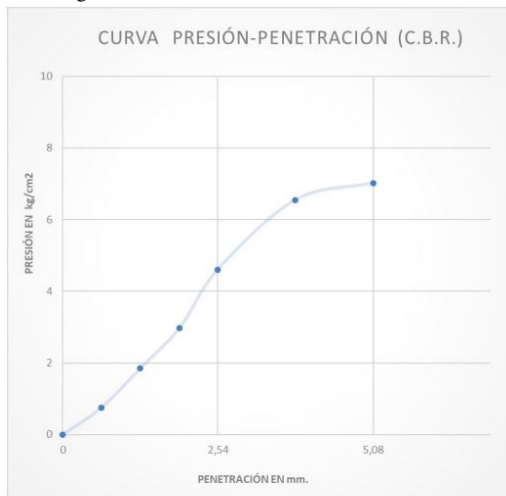
Figura 8: Curva Presión-Penetración. Suelo A-4



Fuente: Elaboración propia

**Suelo A-6**

Figura 9: Curva Presión-Penetración. Suelo A-6



Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 7, 8 y 9 se evaluó la capacidad portante de cada tipo de suelo. Para el suelo A-2-4 se obtuvo una capacidad de 21,7 %. Para el suelo A-4 un 20,4 % y para el suelo A-6 un 6,7 %, siendo esta última aquella con menos capacidad resistente en comparación con las demás, por lo que provocaría un aumento de material estabilizador “cemento” para la obtención de una mayor capacidad portante.

**Ensayos a Compresión.**

A continuación, se muestran las tablas con los ensayos a compresión realizados a los distintos tipos de suelos, con 3, 3,5 y 4 cemento, se ha trabajado con variables como probetas, suelo y cemento.

Tabla 9: Ensayo a Compresión, 3 %, 3,5 % y 4 % de Cemento Vallemí

Fecha	N°	Edad	%	Tipo	Diam.	Altura	Vol.	Peso	%	Dens.	Proctor 199 MOD	%	Lecc.	Fac.	Sección	KG/cm²	PROMEDIO
Molde	Rotura	Prob.	Días	CEN	Cm	Cm	Cm³	Muestra	Humedad	Molde	Dens. KG   H. OpL	Comp.	Dial.	Cot.	CM 2		
23/10/2021	30/10/2021	1	7	3,0%	Vallemí	10	11,5	903	2080		2303	2105	9,4	100	85	78,54	20,3
23/10/2021	30/10/2021	2	7	3,5%	Vallemí	10	11,5	903	2080		2303	2105	9,4	100	87	78,54	20,7
23/10/2021	30/10/2021	3	7	3,0%	Vallemí	10	11,5	903	2080		2303	2105	9,4	100	83	78,54	19,8
23/10/2021	30/10/2021	4	7	3,5%	Vallemí	10	11,5	903	2080		2303	2105	9,4	100	115	78,54	27,4
23/10/2021	30/10/2021	5	7	3,5%	Vallemí	10	11,5	903	2080		2303	2105	9,4	100	117	78,54	27,9
23/10/2021	30/10/2021	6	7	3,5%	Vallemí	10	11,5	903	2080		2303	2105	9,4	100	113	78,54	26,9
23/10/2021	30/10/2021	7	7	4,0%	Vallemí	10	11,5	903	2080		2303	2105	9,4	100	125	78,54	29,8
23/10/2021	30/10/2021	8	7	4,0%	Vallemí	10	11,5	903	2080		2303	2105	9,4	100	133	78,54	31,7
23/10/2021	30/10/2021	9	7	4,0%	Vallemí	10	11,5	903	2080		2303	2105	9,4	100	130	78,54	31,0

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9 se muestran los ensayos a compresión del suelo A-2-4, para el cual se observa una resistencia promedio de 20,3kg/cm² para 3 % de cemento, 27,4 kg/cm² para 3,5 % de cemento y 30,8 kg/cm² para 4 % de cemento. Para dicho ensayo se utilizó Cemento Vallemí.

**Progresiva: 62 + 100**

**Tipo de Suelo: A-2-4**

**Aro: 5000**

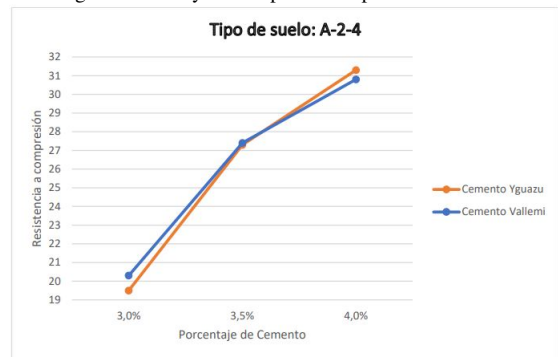
Tabla 10: Ensayo a Compresión, 3 %, 3,5 % y 4 % de Cemento Yguazu

Fecha	N°	Edad	%	Tipo	Diam.	Altura	Vol.	Peso	%	Dens.	Proctor 199 MOD	%	Lecc.	Fac.	Sección	KG/cm²	PROMEDIO
Molde	Rotura	Prob.	Días	CEN	Cm	Cm	Cm³	Muestra	Humedad	Molde	Dens. KG   H. OpL	Comp.	Dial.	Cot.	CM 2		
15/10/2021	22/10/2021	1	7	3,0%	Yguazu	10	11,5	903	2075		2298	2105	9,4	99,8	80	78,54	19,1
15/10/2021	22/10/2021	2	7	3,0%	Yguazu	10	11,5	903	2075		2298	2105	9,4	99,8	84	78,54	20,0
15/10/2021	22/10/2021	3	7	3,0%	Yguazu	10	11,5	903	2075		2298	2105	9,4	99,8	82	78,54	19,5
15/10/2021	22/10/2021	4	7	3,5%	Yguazu	10	11,5	903	2075		2298	2105	9,4	99,8	112	78,54	26,7
15/10/2021	22/10/2021	5	7	3,5%	Yguazu	10	11,5	903	2075		2298	2105	9,4	99,8	118	78,54	28,1
15/10/2021	22/10/2021	6	7	3,5%	Yguazu	10	11,5	903	2075		2298	2105	9,4	99,8	114	78,54	27,2
15/10/2021	22/10/2021	7	7	4,0%	Yguazu	10	11,5	903	2075		2298	2105	9,4	99,8	130	78,54	31,0
15/10/2021	22/10/2021	8	7	4,0%	Yguazu	10	11,5	903	2075		2298	2105	9,4	99,8	129	78,54	30,7
15/10/2021	22/10/2021	9	7	4,0%	Yguazu	10	11,5	903	2075		2298	2105	9,4	99,8	135	78,54	32,2

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10 se muestran los ensayos a compresión del suelo A-2-4, para el cual se observa una resistencia promedio de 20,3kg/cm² para 3 % de cemento, 27,3 kg/cm² para 3,5 % de cemento y 31,3 kg/cm² para 4 % de cemento. Para dicho ensayo se utilizó Cemento Yguazu.

Figura 10: Ensayo a compresión. Tipo de suelo A-2-4



Fuente: Elaboración propia

Cemento Vallemí	
% Cemento	Resistencia
3	20,3
3,5	27,4
4	30,8

Cemento Yguazú	
% Cemento	Resistencia
3	19,5
3,5	27,3
4	31,3

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados obtenidos, en la **Figura 10** se puede observar que para distintos porcentajes de cemento en el suelo A–2–4, refleja mayor resistencia a mayor porcentaje, siendo mínima la diferencia entre las resistencias obtenidas por cada tipo de cemento, alcanzándose mayor resistencia utilizando Cemento Yguazu.

**Progresiva: 44 + 600 Tipo de Suelo: A-4 Aro: 5000**

Tabla 11: Ensayo a Compresión, 3%, 3,5% y 4% de Cemento Vallemí

Fecha	Nº	Edad	%	Tipo	Diam	Altura	Vol	Peso	%	Densic	Proctor T99 MOD	%	Lecc	Fact	Sección	KG/cm²	PROMEDIO
Moldes	Rotura	Prob.	Días	CEN	CEN	Cm	Cm	Cm	Humedad	Móde	Dens. KG/ H. Opl.	Comp.	Dial.	Corr.	CM 2		
19/10/2021	26/10/2021	1	7	3,0%	Vallemí	10	11,5	903	2080	2303	2110	9,4	99,8	81	78,54	19,3	20,1
19/10/2021	26/10/2021	2	7	3,0%	Vallemí	10	11,5	903	2080	2303	2110	9,4	99,8	85	78,54	20,3	
19/10/2021	26/10/2021	3	7	3,0%	Vallemí	10	11,5	903	2080	2303	2110	9,4	99,8	87	78,54	20,7	
19/10/2021	26/10/2021	4	7	3,5%	Vallemí	10	11,5	903	2085	2309	2110	9,4	100	109	78,54	26,0	26,7
19/10/2021	26/10/2021	5	7	3,5%	Vallemí	10	11,5	903	2085	2309	2110	9,4	100	115	78,54	27,4	
19/10/2021	26/10/2021	6	7	3,5%	Vallemí	10	11,5	903	2085	2309	2110	9,4	100	112	78,54	26,7	
19/10/2021	26/10/2021	7	7	4,0%	Vallemí	10	11,5	903	2085	2309	2110	9,4	100	140	78,54	33,4	33,4
19/10/2021	26/10/2021	8	7	4,0%	Vallemí	10	11,5	903	2085	2309	2110	9,4	100	138	78,54	32,9	
19/10/2021	26/10/2021	9	7	4,0%	Vallemí	10	11,5	903	2085	2309	2110	9,4	100	138	78,54	32,9	

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 11** se muestran los ensayos a compresión del suelo A-2-4 el cual se observa una resistencia promedio de 20,1 kg/cm² para 3% de cemento, 26,7 kg/cm² para 3,5% de cemento y 33,4 kg/cm² para 4% de cemento. Para dicho ensayo se utilizó Cemento Vallemí.

**Progresiva: 44 + 600 Tipo de Suelo: A-4 Aro: 5000**

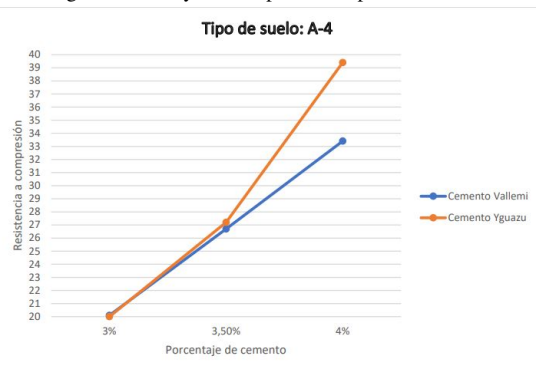
Tabla 12: Ensayo a Compresión, 3%, 3,5% y 4% de Cemento Yguazu

Fecha	Nº	Edad	%	Tipo	Diam	Altura	Vol	Peso	%	Densic	Proctor T99 MOD	%	Lecc	Fact	Sección	KG/cm²	PROMEDIO
Moldes	Rotura	Prob.	Días	CEN	CEN	Cm	Cm	Cm	Humedad	Móde	Dens. KG/ H. Opl.	Comp.	Dial.	Corr.	CM 2		
15/10/2021	22/10/2021	1	7	3,0%	Yguazu	10	11,5	903	2085	2309	2110	9,4	100	81	78,54	19,3	20
15/10/2021	22/10/2021	2	7	3,0%	Yguazu	10	11,5	903	2085	2309	2110	9,4	100	84	78,54	20,0	
15/10/2021	22/10/2021	3	7	3,0%	Yguazu	10	11,5	903	2085	2309	2110	9,4	100	87	78,54	20,7	
15/10/2021	22/10/2021	4	7	3,5%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2313	2110	9,4	100	117	78,54	27,9	27,2
15/10/2021	22/10/2021	5	7	3,5%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2313	2110	9,4	100	112	78,54	26,7	
15/10/2021	22/10/2021	6	7	3,5%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2313	2110	9,4	100	112	78,54	26,7	
15/10/2021	22/10/2021	7	7	4,0%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2313	2110	9,4	100	165	78,54	39,3	39,4
15/10/2021	22/10/2021	8	7	4,0%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2313	2110	9,4	100	162	78,54	38,6	
15/10/2021	22/10/2021	9	7	4,0%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2313	2110	9,4	100	169	78,54	40,3	

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 12** se muestran los ensayos a compresión de l suelo A-2-4 el cual se observa una resistencia promedio de 20 kg/cm² para 3% de cemento, 27,2 kg/cm² para 3,5% de cemento y 39,4 kg/cm² para 4% de cemento. Para dicho ensayo se utilizó Cemento Yguazu.

Figura 11: Ensayo a Compresión. Tipo de suelo A-4



Fuente: Elaboración propia

Cemento Vallemí		Cemento Yguazu	
% Cemento	Resistencia	% Cemento	Resistencia
3	20,1	3	20
3,5	26,7	3,5	27,2
4	33,4	4	39,4

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados obtenidos, en la **Figura 11** se puede observar que para distintos porcentajes de cemento en el suelo A–4, refleja mayor resistencia a mayor porcentaje, siendo mínima la diferencia entre las resistencias obtenidas por cada tipo de cemento, alcanzándose mayor resistencia utilizando Cemento Yguazu.

**Progresiva: 43 + 300 Tipo de Suelo: A-6 Aro: 5000**

Tabla 13: Ensayo a Compresión, 3%, 3,5% y 4% de Cemento Vallemí

Fecha	Nº	Edad	%	Tipo	Diam	Altura	Vol	Peso	%	Densic	Proctor T99 MOD	%	Lecc	Fact	Sección	KG/cm²	PROMEDIO
Moldes	Rotura	Prob.	Días	CEN	CEN	Cm	Cm	Cm	Humedad	Móde	Dens. KG/ H. Opl.	Comp.	Dial.	Corr.	CM 2		
22/10/2021	29/10/2021	1	7	3,0%	Vallemí	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	64	78,54	15,2	15,2
22/10/2021	29/10/2021	2	7	3,0%	Vallemí	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	62	78,54	14,8	
22/10/2021	29/10/2021	3	7	3,0%	Vallemí	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	66	78,54	15,7	
22/10/2021	29/10/2021	4	7	3,5%	Vallemí	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	77	78,54	18,3	18,9
22/10/2021	29/10/2021	5	7	3,5%	Vallemí	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	81	78,54	19,3	
22/10/2021	29/10/2021	6	7	3,5%	Vallemí	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	81	78,54	19,3	
22/10/2021	29/10/2021	7	7	4,0%	Vallemí	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	91	78,54	21,7	21,8
22/10/2021	29/10/2021	8	7	4,0%	Vallemí	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	89	78,54	21,2	
22/10/2021	29/10/2021	9	7	4,0%	Vallemí	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	95	78,54	22,6	

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 13** se muestran los ensayos a compresión del suelo A–6 el cual se observa una resistencia promedio de 15,2 kg/cm² para 3% de cemento, 18,9 kg/cm² para 3,5% de cemento y 21,8 kg/cm² para 4% de cemento. Para dicho ensayo se utilizó Cemento Vallemí.

**Progresiva: 43 + 300 Tipo de Suelo: A-6 Aro: 5000**

Tabla 14: Ensayo a Compresión, 3%, 3,5% y 4% de Cemento Yguazu

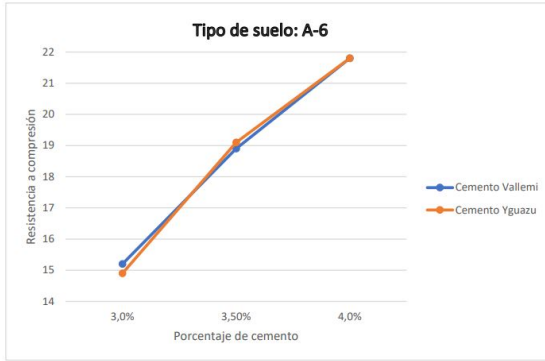
Fecha	Nº	Edad	%	Tipo	Diam	Altura	Vol	Peso	%	Densic	Proctor T99 MOD	%	Lecc	Fact	Sección	KG/cm²	PROMEDIO
Moldes	Rotura	Prob.	Días	CEN	CEN	Cm	Cm	Cm	Humedad	Móde	Dens. KG/ H. Opl.	Comp.	Dial.	Corr.	CM 2		
15/10/2021	22/10/2021	1	7	3,0%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	65	78,54	15,5	14,9
15/10/2021	22/10/2021	2	7	3,0%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	62	78,54	14,8	
15/10/2021	22/10/2021	3	7	3,0%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	60	78,54	14,3	
15/10/2021	22/10/2021	4	7	3,5%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	79	78,54	18,8	19,1
15/10/2021	22/10/2021	5	7	3,5%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	83	78,54	19,8	
15/10/2021	22/10/2021	6	7	3,5%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	78	78,54	18,6	
15/10/2021	22/10/2021	7	7	4,0%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	92	78,54	21,9	21,8
15/10/2021	22/10/2021	8	7	4,0%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	90	78,54	21,4	
15/10/2021	22/10/2021	9	7	4,0%	Yguazu	10	11,5	903	2090	2348	2010	11,8	100	93	78,54	22,2	

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 14** se muestran los ensayos a compresión del suelo A–6 el cual se observa una resistencia promedio de 14,9 kg/cm² para 3% de cemento, 19,1 kg/cm² para 3,5% de cemento y 21,8 kg/cm² para 4% de cemento. Para dicho ensayo se utilizó Cemento Yguazu.

En base a los resultados obtenidos, en la **Figura 12** se puede observar que para distintos porcentajes de cemento en el suelo A–4, refleja mayor resistencia a mayor porcentaje, al igual que los tipos de suelos A–2–4 y A–4, la diferencia entre ambos tipos de cementos es mínima, sin embargo, se puede observar mayor resistencia utilizando Cemento Yguazu.

Figura 12: Ensayo a Compresión. Tipo de suelo A-6



Fuente: Elaboración propia

**Cemento Vallemi**

% Cemento	Resistencia
3	15,2
3,5	18,9
4	21,8

**Cemento Yguazú**

% Cemento	Resistencia
3	14,9
3,5	19,1
4	21,8

Fuente: Elaboración propia

**Ensayo de Durabilidad**

A continuación, se presenta la influencia del porcentaje cemento en la durabilidad de los cuerpos de prueba. Las variables utilizadas fueron cemento y suelo. En el apéndice 2 se visualizan los resultados que fueron obtenidos a partir de la ecuación (12), de lo cual se resume lo siguiente:

Tabla 15: Ensayo de Durabilidad. Cemento Vallemi

Tipo de suelo: A-2-4	
% de cemento	% de pérdida de peso
3 %	6,30 %
3,50 %	5,10 %
4 %	5,15 %
Tipo de suelo: A-4	
% de cemento	% de pérdida de peso
3 %	6,40 %
3,50 %	6,40 %
4 %	5,10 %
Tipo de suelo: A-6	
% de cemento	% de pérdida de peso
3 %	5,10 %
3,50 %	5,20 %
4 %	5,10 %

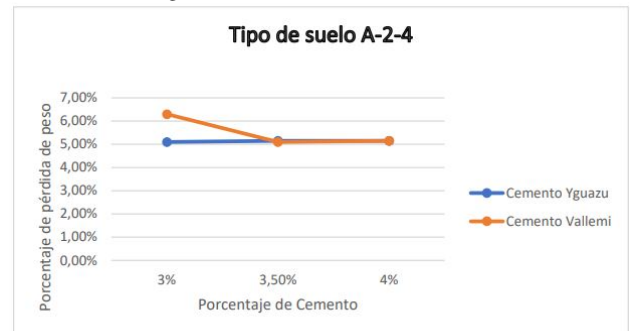
Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Ensayo de Durabilidad. Cemento Yguazú

Tipo de suelo: A-2-4	
% de cemento	% de pérdida de peso
3 %	5,10 %
3,50 %	5,15 %
4 %	5,15 %
Tipo de suelo: A-4	
% de cemento	% de pérdida de peso
3 %	5,20 %
3,50 %	5,05 %
4 %	5,00 %
Tipo de suelo: A-6	
% de cemento	% de pérdida de peso
3 %	5,05 %
3,50 %	5,10 %
4 %	5,05 %

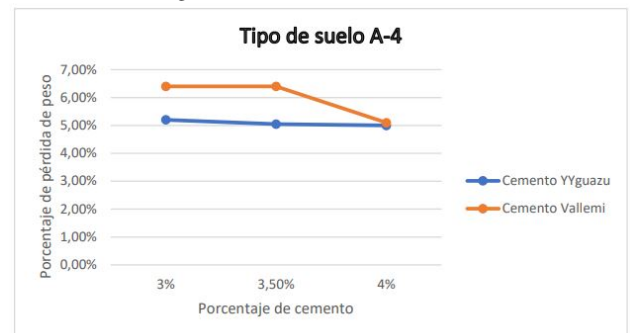
Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Pérdida de masa. Suelo A-2-4



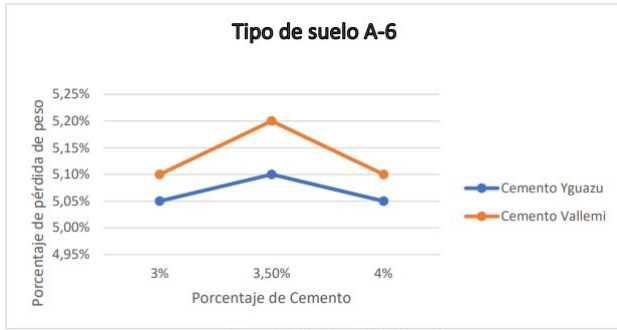
Fuente: Elaboración Propia

Figura 14: Pérdida de masa. Suelo A-4



Comparando las Figuras 13 14 y 15 se observa la influencia positiva de utilizar menor porcentaje de cemento en cuanto a la pérdida de masa. Se destaca que para el caso de utilizar Cemento Yguazú, la pérdida es menor.

Figura 15: Pérdida de masa. Suelo A-6



Fuente: Elaboración Propia

### ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO

A modo de garantizar que los recursos se repartan de manera eficiente, se establece un costo previo a la construcción que, de acuerdo a lo especificado y descrito en cada uno de los ítems de una obra vial, se analizan los rendimientos y consumos de cada uno de ellos según la unidad de medición indicada que podrá ser unitaria o global.

Considerando lo anterior, los siguientes análisis de costos se basaron en las especificaciones técnicas establecidas para el trabajo de sub-base medido en metros cúbicos, por lo que para cada uno de los diseños de mezclas estudiados se utilizaron el mismo rendimiento de maquinarias y el consumo de materiales en función a dichos diseños.

A continuación, se describe los ítems considerados para el análisis de costos:

- A. **Equipo a utilizar – Modelo de Equipo:** Se tienen en cuenta los equipos de colocación de material, maquinarias y transporte necesarios. En este ítem se desglosa la descripción, cantidad, costos y el rendimiento de cada equipo por hora. El total de (A) representa lo que cuesta en equipos realizar el trabajo por hora.
- B. **Mano de Obra:** Se considera a todo el personal involucrado dentro de la ejecución del trabajo (no se incluye personal técnico) es decir, choferes, ayudantes, operadores, etc. El total (B) representa el total de mano de obra directa que cuesta por hora realizar este trabajo en términos de mano de obra.
- C. **Producción del equipo:** Se tiene en cuenta el rendimiento horario de la mano de obra y equipo en conjunto para producir un m<sup>3</sup>.
- D. **Costo Unitario de Ejecución:** Representa el costo total por m<sup>3</sup> teniendo en cuenta los ítems A, B y C.
- E. **Materiales:** Se tienen en cuenta el consumo del cemento y de suelo para la realización del trabajo, el costo unitario y el total de éstos, según cada diseño de mezcla.
- F. **Transporte:** Es un costo directo, asume labores de transporte de material, es decir, el costo de trasladar el material acopiado, generalmente de un préstamo, a su destino

(pista), teniendo en cuenta la Figura x, donde se indican las zonas de préstamo para el cálculo de la distancia media de transporte (DMT).

G. **Costo Directo Total:** El costo final de cada diseño de mezcla.

Tabla 17: Composición de costos unitarios por ejecución.

A)	Equipo a utilizar - Modelo de equipo	Rendimiento m <sup>3</sup> /h	Horas de c/ Equipo h/m <sup>3</sup>	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Camión Cisterna - Scania P94 DB 6X2 NA260	70,00	0,01429	176.900	2.527
	Camión Volquete - Hyundai HD270	70,00	0,01429	181.500	2.593
	Compactador Neumático - Dynapac CP2700	349,99	0,00286	212.575	607
	Compactador Rodillo Liso - Caterpillar CS533E	70,00	0,01429	377.750	5.397
	Excavadora hidráulica - Hyundai Robex 290LC	140,00	0,00714	358.325	2560
	Motoniveladora - Caterpillar 140 K	87,50	0,01143	428.780	4.900
	Reciclador / Estabilizador - Caterpillar RM-350B	200,00	0,00500	724.130	3.621
				<b>A) Total</b>	<b>22.205</b>
B)	Mano de Obra	Unidad	Horas de cada Trabajador	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Ayudante	hr	0,028572	2.289.324	65.411
	Chofer de camión Regador	hr	0,014286	2.700.000	38.572
	Chofer de Camión Volquete	hr	0,014286	2.700.000	38.572
	Operador de Compactador con rodillo liso	hr	0,014286	2.750.000	39.287
	Operador de Compactador Neumático	hr	0,0028572	2.750.000	7.857
	Operador de Excavadora	hr	0,007143	4.000.000	28.572
	Operador de Motoniveladora	hr	0,0114288	5.500.000	62.858
	Operador de recicladora	hr	0,0050001	4.000.000	20.000
				<b>B) Total</b>	<b>301.130</b>
C)	Producción del Equipo:	m <sup>3</sup> /Hs	1,00		
D)	Costo Unitario de Ejecución = (A + B)/C				<b>323.334</b>

Fuente: Elaboración propia

Análogamente, para los siguientes diseños de mezclas se utilizaron A, B, C y D de la **Tabla 17**.

Tabla 18: Suelo A-2-4 + 3 % - Cemento Vallemi.

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (3 %)	kg	67,06	1.240	83.150
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>84.695</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	5,64	1,545	1.325	11.546
				<b>F) Total</b>	<b>11.546</b>
G)	COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)				419.575

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Suelo A-2-4 + 3,5 % - Cemento Vallemi

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (3,5 %)	kg	78,64	1.240	97.511
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>99.056</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	5,64 km	1,545	1.325	11.546
				<b>F) Total</b>	<b>11.546</b>
G)	COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)				433.936

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Suelo A-2-4 + 4 % - Cemento Vallemi

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (4 %)	kg	90,34	1.240	112.021
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>113.566</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	5,64 km	1,545	1.325	11.546
				<b>F) Total</b>	<b>11.546</b>
<b>G)</b>	<b>COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)</b>				<b>448.446</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Suelo A-4 + 3,5 % - Cemento Vallemi

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (3,5 %)	kg	78,82	1.240	97.742
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>99.287</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	23,14 km	1,545 Ton	929	33.213
				<b>F) Total</b>	<b>33.213</b>
<b>G)</b>	<b>COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)</b>				<b>455.834</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Suelo A-2-4 + 3 % - Cemento Yguazú

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (3 %)	kg	67,06	1.140	76.444
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>77.989</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	5,64 km	1,545	1.325	11.546
				<b>F) Total</b>	<b>11.546</b>
<b>G)</b>	<b>COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)</b>				<b>412.869</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Suelo A-4 + 4 % - Cemento Vallemi

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (4 %)	kg	90,55	1.240	112.287
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>113.832</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	23,14 km	1,545	929	33.213
				<b>F) Total</b>	<b>33.213</b>
<b>G)</b>	<b>COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)</b>				<b>470.379</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Suelo A-2-4 + 3,5 % - Cemento Yguazú

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (3,5 %)	kg	78,64	1.140	89.647
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>91.192</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	5,64 km	1,545	1.325	11.546
				<b>F) Total</b>	<b>11.546</b>
<b>G)</b>	<b>COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)</b>				<b>426.072</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Suelo A-4 + 3 % - Cemento Yguazú

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (3 %)	kg	67,22	1.140	76.631
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>78.176</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	23,14 km	1,545	929	33.213
				<b>F) Total</b>	<b>33.213</b>
<b>G)</b>	<b>COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)</b>				<b>434.723</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Suelo A-2-4 + 4 % - Cemento Yguazú

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (4 %)	kg	90,34	1.140	102.987
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>104.532</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	5,64 km	1,545 Ton	1.325	11.546
				<b>F) Total</b>	<b>11.546</b>
<b>G)</b>	<b>COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)</b>				<b>439.412</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Suelo A-4 + 3,5 % - Cemento Yguazú

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (3,5 %)	kg	78,82	1.140	89.860
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>91.405</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	23,14 km	1,545	929	33.213
				<b>F) Total</b>	<b>33.213</b>
<b>G)</b>	<b>COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)</b>				<b>447.952</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Suelo A-4 + 3 % - Cemento Vallemi

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (3 %)	kg	67,22	1.240	83.353
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>84.898</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	23,14 km	1,545 Ton	929	33.213
				<b>F) Total</b>	<b>33.213</b>
<b>G)</b>	<b>COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)</b>				<b>441.445</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Suelo A-4 + 4 % - Cemento Yguazú

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (4 %)	kg	90,55	1.140	103.232
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>104.777</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	23,14 km	1,545	929	33.213
				<b>F) Total</b>	<b>33.213</b>
<b>G)</b>	<b>COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)</b>				<b>461.324</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Suelo A-6 + 3 % - Cemento Vallemí

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (3 %)	kg	64,03	1.240	79.397
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>80.942</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	24,6 km	1,545	929	35.309
				<b>F) Total</b>	<b>35.309</b>
G)	COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)				439.585

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Suelo A-6 + 4 % - Cemento Yguazú

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (4 %)	kg	86,26	1.140	98.336
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>99.881</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	24,6 km	1,545	929	35.309
				<b>F) Total</b>	<b>35.309</b>
G)	COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)				458.524

Fuente: Elaboración propia

Se resumen los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 31: Suelo A-6 + 3,5 % - Cemento Vallemí

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (3,5 %)	kg	75,09	1.240	93.112
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>94.657</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	24,6 km	1,545	929	35.309
				<b>F) Total</b>	<b>35.309</b>
G)	COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)				453.299

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Resumen de Análisis de Costos (Gs/m<sup>3</sup>)

Tipo de Cemento	Tipo de Suelo	Porcentaje de Consumo		
		3.0 %	3.5 %	4.0 %
CEMENTO VALLEMI	Suelo A-2-4	419,575	433,936	448,446
CEMENTO VALLEMI	Suelo A-4	441,445	455,834	470,379
CEMENTO VALLEMI	Suelo A-6	439,585	453,299	467,150
CEMENTO YGUAZU	Suelo A-2-4	412,869	426,072	439,412
CEMENTO YGUAZU	Suelo A-4	434,723	447,952	461,324
CEMENTO YGUAZU	Suelo A-6	433,182	445,790	458,524

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Suelo A-6 + 4 % - Cemento Vallemí

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (4 %)	kg	86,26	1.240	106.962
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>94.657</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	24,6 km	1,545	929	35.309
				<b>F) Total</b>	<b>35.309</b>
G)	COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)				467.150

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Suelo A-6 + 3 % - Cemento Yguazú

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (3 %)	kg	64,03	1.140	72.994
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>74.539</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	24,6 km	1,545	929	35.309
				<b>F) Total</b>	<b>35.309</b>
G)	COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)				433.182

Fuente: Elaboración propia

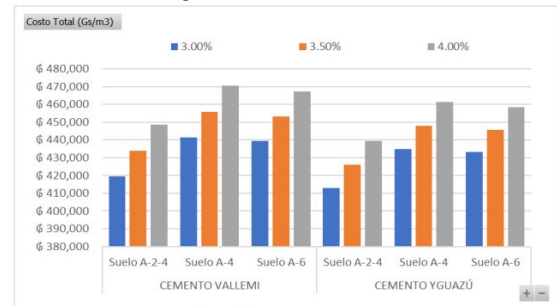
Tabla 34: Suelo A-6 + 3,5 % - Cemento Yguazú

E)	Materiales	Unidad	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Cemento en bolsa (3,5 %)	kg	75,09	1.140	85.603
	Suelo	m <sup>3</sup>	1,545	1.000	1.545
				<b>E) Total</b>	<b>87.148</b>
F)	Transportes	DMT KM	Consumo	Costo Gs.	Costo Total Gs.
	Flete de suelo	24,6 km	1,545	929	35.309
				<b>F) Total</b>	<b>35.309</b>
G)	COSTO DIRECTO TOTAL (D+E+F)				445.790

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la **Figura 16** se denota la comparación entre los costos totales por cada composición analizada.

Figura 16: Resumen de costos



Fuente: Elaboración propia

A partir de los análisis de costos unitarios se observa que la de mayor costo es el Suelo A-4 con 4 % de Cemento Vallemi y la de menor costo el Suelo A-2-4 con 3 % de Cemento Yguazú

#### 4. Conclusiones

Se ha determinado que los suelos predominantes en el distrito de Sargento José Félix López son A-6, A-4 y A-2-4. Estos suelos presentan las características necesarias para una mezcla óptima de suelo-cemento, y al no haber diferencias significativas entre ellos, se utilizan valores medios para su representación. La caracterización física de la muestra arrojó los siguientes promedios: límite líquido 20.6 %, límite plástico 14.2 %, índice plástico 6.4 % y un porcentaje de pasante en el tamiz 200 de 40.73 %. En particular, el suelo A-4 muestra las mejores condiciones con las características mencionadas.

Al utilizar el porcentaje mínimo de cemento en los diferentes tipos de suelo, se logra alcanzar en promedio la resistencia a la compresión simple mínima requerida (15 kg/cm<sup>2</sup>). Esto indica que un 3 % de cemento es suficiente para los suelos A-4 y A-2-4. Los resultados revelan que los porcentajes de cemento utilizados muestran valores de resistencia a la compresión muy superiores a los requeridos normalmente en obras viales nacionales.

En cuanto al ensayo de humedecimiento y secado, los resultados muestran que los porcentajes de cemento generan pérdida de peso y/o volumen dentro de los valores admisibles. Se observó que los diseños de mezcla utilizando Cemento Vallemi tienen una pérdida de peso entre 5.10 % y 6.40 %, mientras que con el Cemento Yguazú se registra una menor pérdida de peso en un intervalo de 5.05 % a 5.20 %.

Al analizar las variables y resultados obtenidos en el laboratorio, se realizó una comparación de las diferentes combinaciones en términos de costos, donde se observó que la opción más económica es el Suelo A-4 con un 3.5 % de Cemento Yguazú. Por lo tanto, esta combinación es la que mejor satisface las dimensiones estudiadas en este trabajo.

Basado en los resultados presentados, se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Utilizar cementos de alta resistencia, ya que podrían lograr la resistencia requerida con un menor porcentaje de cemento. Sin embargo, se debe analizar el costo asociado.
- Considerar el tiempo de curado en el diseño, ya que es recomendable seguir el proceso para evitar la formación de fisuras o microfisuras que puedan afectar la resistencia y causar desviaciones en los resultados de los ensayos.
- Implementar normativas a nivel nacional para la investigación de los diferentes tipos de suelo existentes en la zona norte, de manera que puedan ser útiles en el diseño por parte de los proyectistas.

## Referencias

- [1] ASTM D422-07. (2007). Método de Ensayo Estándar para el Análisis Granulométrico. Washington. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/astm-d422-07-analisis-granulometrico-5-pdf-free.html>
- [2] Betancourt, B., & Bello, B. I. (2016). Resistencia a compresión simple de especímenes de suelo-cemento, proporción 90 %-10 %. Tlamati Sabiduría Volumen 7 Número Especial 1.
- [3] Blaz, P. O. (2003). Suelos mejorados con aglomerantes y aglomerados como pisos en Asentamientos Humanos. Universidad Nacional de San Martín.
- [4] Bowles, J. (2006). CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) - Experimento N° 19. Peru.
- [5] Bravo, R., García, L., Morales, V., & Ramírez, A. (2012). Análisis granulométrico. México: Universidad Autónoma de México. Obtenido de <http://cozumel.fi-a.unam.mx/pinilla/Proyectos/2012-2/PE/05.pdf>
- [6] Castrillo, S. (2008). Clasificación taxonómica de los suelos del este salteño según el Soil Taxonomy y su adecuación a un SIG. Salta: Universidad Nacional de Salta. Obtenido de [https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-clasificacion\\_taxonomica\\_suelos\\_salteos.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-clasificacion_taxonomica_suelos_salteos.pdf)
- [7] Ciancaglini- Prosap, N. (s.f.). R- 001- Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. San Juan, Argentina: INTA. Obtenido de <http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20R001.Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf>
- [8] ESSAP. (s.f.). Empresas de Servicios Sanitarios del Paraguay S.A.
- [9] Gavilanes, B. E. (2015). Estabilización y mejoramiento de sub-rasante mediante cal y cemento para una obra vial en el sector de santos pamba barrio colinas del sur. Quito, Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador.
- [10] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6° ed. ed.). Mexico: McGraw-Hill.
- [11] Huezo, M. H., & Orellana, M. A. (2009). Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en el salvador. El Salvador: Universidad El Salvador.
- [12] IECA. (2013). Estabilización de suelos con cemento. Madrid: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones.
- [13] Instituto de Construcción y Gerencia. (2000). Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas. ICG. Obtenido de <https://docplayer.es/52978416-Humedecimiento-y-secado-de-mezclas-de-suelo-cemento-compactadas-mtc-e.html>
- [14] Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. (8 de mar de 2008). Suelo-cemento 1ra parte. Obtenido de Ingeniería: <http://www.imcyc.com/ct2008/mar08/ingenieria.htm>
- [15] INTN. (2008). Reglamento específico para certificación por marca onc de conformidad de cementos portland. Asunción: INTN. Obtenido de [https://www.intn.gov.py/application/files/3315/5846/1343/ONC-RE-003...Reglamento\\_Especifico\\_Cementos\\_Portland\\_Marca\\_ONC\\_de\\_Conformidad...Rev\\_02\\_1.pdf](https://www.intn.gov.py/application/files/3315/5846/1343/ONC-RE-003...Reglamento_Especifico_Cementos_Portland_Marca_ONC_de_Conformidad...Rev_02_1.pdf)
- [16] INTN. (2013). Instituto Nacional de Tecnología y Normalización. Paraguay.
- [17] Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. México: Portland Cement Association PCA.
- [18] Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1984). Mecánica de suelos. México: Limusa S.A. Obtenido de [https://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi\\_blog/tr/Mec\\_nica\\_de\\_suelos\\_Lambe\\_y\\_Whitman.pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/tr/Mec_nica_de_suelos_Lambe_y_Whitman.pdf)
- [19] Larrea, A., & Villalba, L. (2000). Enzimas orgánicas de la estabilización de suelos, un aporte al desarrollo. Quito: Facultad de Ingeniería PUCE.
- [20] Menéndez Acurio, J. (2009). Ingeniería de pavimentos: materiales, diseño y conservación. Lima: Fondo Editorial ICG. Obtenido de [https://drive.google.com/file/d/1b7Hwj38FNTjXpXDqZjWh80tEX4LCojx/view?fbclid=IwAR0C-48Et4kOia9f9qEaHKZijm72H3JXUfc-6IFE7e6Jc\\_zZeZKhtAr11RXQ](https://drive.google.com/file/d/1b7Hwj38FNTjXpXDqZjWh80tEX4LCojx/view?fbclid=IwAR0C-48Et4kOia9f9qEaHKZijm72H3JXUfc-6IFE7e6Jc_zZeZKhtAr11RXQ)
- [21] Montejo, A. (2002). Ingeniería de pavimentos para carreteras (2da. ed. ed.). Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- [22] MOPC. (2011). Normas para la estructura del pavimento. En MOPC, Manual de carreteras del Paraguay (Vol. 1, págs. 1-224). Asunción: MOPC. Obtenido de <https://www.mopc.gov.py/userfiles/files/gp.pdf>
- [23] MOPC. (2019). Unidad 6. Ensayos para materiales para construcción de carreteras. Asunción: APC. Obtenido de <http://apcarreteras.org.py/wp-content/uploads/2019/08/UNIDAD-6-ENSAYOS-DE-MATERIALES-PARA-CONSTRUCCION-DE-CARRETERAS.pdf>
- [24] Ortíz-Osorio, C., & Gutiérrez-Castorena, E. (2014). Claves para la taxonomía de suelos. México: Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Obtenido de [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_0515-46.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_0515-46.pdf)
- [25] Osorio, S. (19 de Nov de 2010). Apuntes de geotecnia con énfasis en laderas. Obtenido de Geotecnia: <http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de-19.html>
- [26] Proyecto PAR. (1986). Geología del Paraguay. Paraguay.
- [27] Rico Rodríguez, A., & Del Castillo, H. (2012). La ingeniería de suelos en las vías terrestres 2: carreteras, ferrocarriles y autopistas. México: Limusa.
- [28] Toirac, J. (2008). El Suelo-Cemento como Material de Construcción. República Dominicana: Instituto Tecnológico de Santo Domingo.
- [29] UNICOOP. (2015). Prácticas recomendadas para el buen manejo de suelos en la producción de granos. Santa Rita: ARTEMAC S.A. Obtenido de <https://www.unicoop.com.py/admin/archivos/manual-de-buen-manejo-de-suelos-en-la-produccion-de-granos.pdf>