



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**APLICACIÓN DE METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION EN LA
EFICIENCIA CONSTRUCTIVA DE ESCUELAS RURALES EN
SALITRE**

AUTOR

Ing. Villamar Vera Erick Anthony

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN MODALIDAD DE
INFORME DE INVESTIGACIÓN**

**Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN INGENIERIA CIVIL CON MENCIÓN EN
GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN**

TUTORA

PhD. García Troncoso Natividad

La Libertad, Ecuador

2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

**PhD Roxana Álvarez Acosta
COORDINADORA (E) DEL PROGRAMA**

**PhD. Cornejo Martínez Mauricio
DOCENTE ESPECIALISTA**

**Ph.D. Ochoa García Santiago
DOCENTE ESPECIALISTA**

**PhD. Garcia Troncoso Natividad
TUTORA**

**Ab. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIA GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por el ING. ERICK ANTHONY VILLAMAR VERA, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción

TUTORA

PhD. Garcia Troncoso Natividad

2 días del mes de abril del año 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **ERICK ANTHONY VILLAMAR VERA**

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, “APLICACIÓN DE METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION EN LA EFICIENCIA CONSTRUCTIVA DE ESCUELAS RURALES EN SALITRE” previo a la obtención del título en Magíster En Ingeniería Civil Con Mención En Gestión de la Construcción, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 2 días del mes de abril del año 2025

EL AUTOR

Ing. Erick Anthony Villamar Vera



UPSE

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado “Aplicación De Metodología Lean Construction En La Eficiencia Constructiva De Escuelas Rurales En Salitre”, presentado por el estudiante, Ing. Villamar Vera Erick Anthony fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 6%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



Analysis report
Compilatio Magister+ | UPSE-ECU

TESIS_Erick Villamar_concluida_02.04
ID : 9bb2715624e62199180b3fc791cfedd2c3de8f87



6%
Suspicious texts

File name : TESIS_Erick Villamar_concluida_02.04.txt
Original file size : 1.59 MB
Number of words : 27,334
Number of characters : 182438

Submitter : NATIVIDAD LEONOR GARCIA TRONCOSO
Submission date : April 2, 2026
Upload type : interface
analysis end date : April 2, 2026

TUTORA

PhD. Garcia Troncoso Natividad



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO
AUTORIZACIÓN**

Yo, ERICK ANTHONY VILLAMAR VERA

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de informe de investigación con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este artículo académico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

La Libertad, a los 2 días del mes de abril del año 2026

EL AUTOR

Ing. Villamar Vera Erick Anthony

AGRADECIMIENTO

Con profunda gratitud, dedico estas palabras a quienes han sido mi soporte y motivación durante la realización de esta tesis.

A mis padres, especialmente a mi madre, por su amor incondicional, por ser fuerte y creer en mí. Esa persona es a quien más admiro.

Agradezco a Brithany, por su compañía constante, su apoyo silencioso y su comprensión en cada momento de este proceso. No hay duda que tu llegada ha dado luz a este sendero.

A mis leales compañeros de vida, Ragnar, Thor y mis adorables gatitas, cuya compañía serena y alegre fue un refugio de paz en los días más intensos de escritura.

A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento. Este logro es, en gran medida, fruto de su apoyo constante.

Erick Anthony Villamar Vera

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico con todo mi corazón:

A mis padres, pilares fundamentales de mi vida, cuyo esfuerzo y amor han hecho posible cada uno de mis logros. En especial, a mi madre, fuente inagotable de fortaleza y ternura.

A Brithany, compañera en este recorrido, por ser mi apoyo más sincero.

Dedico esto a mis tres guardianes, Ragnar, Thor y mis gatos, quienes me acompañaron con sus ronrones y su compañía silenciosa en cada página escrita.

Que estas palabras sean un reflejo del cariño y la gratitud que siento por cada uno de ustedes.

Erick Anthony Villamar Vera

ÍNDICE GENERAL

_Toc225106768

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	IV
DECLARO QUE:	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	V
AUTORIZACIÓN	VI
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	8
1.1. Revisión de literatura	8
1.1.1. Lean Construction en obra pública	8
1.1.2. LeanConstruction en contextos rurales y de baja tecnificación	8
1.1.3. Last Planner System (LPS) como herramienta operativa	9
1.1.4. Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD)	10
1.2. Desarrollo teórico y conceptual	12
1.2.1. Lean Construction: filosofía, principios y fundamentos	12

1.2.2. Last Planner System (LPS)	13
1.2.3. Takt Time	14
1.2.4. Mejora continua (Kaizen)	15
1.2.5. Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) desde la perspectiva Lean	16
1.2.6. BIM como herramienta de apoyo al modelo Lean	17
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	19
2.1. Contexto de la investigación	19
2.2. Diseño y alcance de la investigación	19
2.3. Enfoque y método de investigación	20
2.4. Población y muestra	21
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21
2.6. Procesamiento, validez y confiabilidad	23
2.7. Consideraciones éticas	24
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
3.1. Perfil Socioprofesional de los Encuestados	25
3.2. Diagnóstico de ineficiencias en obra	28
3.2.1. Desperdicio de Materiales en Obra	29
3.2.2. Desviación entre Costo Presupuestado y Costo Real	31
3.2.3. Extensión del Tiempo de Obra	32
3.2.4. Valoración Likert de Problemas en Obra	34
3.3. Conocimiento y Barreras de Lean Construction	35
3.4. Valoración de Propuestas de Mejora	38
3.5. Análisis Cualitativo de Respuestas Abiertas	40
3.5.1. Causas Principales de los Retrasos en Obra	41
3.5.2. Sugerencias de Mejora para la Eficiencia en Salitre	41
3.6. Síntesis del Diagnóstico	42
3.7. PRESUPUESTO DE UNA OBRA (EEB LEONIDAS PLAZA)	44
3.8. Hallazgos Principales	65

3.9. Causas Raíz Identificadas	66
3.10. Fundamentos y Principios de Diseño	66
3.11. Los 4 Pilares del MGL-Rural	67
3.12. PILAR 1 — Last Planner System (LPS) Aplicado al Proyecto	67
3.12.1. NIVEL 1 — Plan Maestro por Fases (Phase Scheduling)	68
3.12.2. NIVEL 2 — Pull Planning (Planificación hacia Atrás)	68
3.12.3. Lookahead de 6 Semanas	70
3.12.4. NIVEL 4 — Plan Semanal y Registro PPC	71
3.12.5. NIVEL 4B — Protocolo de Reunión Semanal (Formato Operativo)	72
3.12.6. Takt Time — Ritmo de Producción Calculado para el Proyecto	73
3.12.7. Análisis de Restricciones Críticas y Soluciones por Partida	74
3.12.8. Estrategias de Optimización de Tiempo y Recursos por Bloque	76
3.12.9. Prototipo Escolar Rural y Metodologías Visuales	78
3.12.10. Manual de Mantenimiento Preventivo	80
3.13. EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD Y EFICIENCIA	81
3.13.1. Marco del Análisis Financiero Comparativo	81
3.13.2. Cuantificación de Pérdidas por los 8 Tipos de Desperdicio (Mudas)	81
3.13.3. Comparativo de Costos Tradicional vs. Lean	83
	83.
3.13.5. Indicadores Clave de Eficiencia (KPIs) del Modelo	84
3.13.6. Análisis de Beneficios por Bloque Presupuestario	85
3.13.7. Conclusión Financiera y Recomendación Final	86
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparativa de antecedentes de investigación	11
Tabla 2. Distribución de encuestados según cargo o rol en los proyectos	25
Tabla 3. Distribución de encuestados según años de experiencia en construcción rural	27
Tabla 4 Porcentaje de desperdicio de materiales en obras escolares rurales	29
Tabla 5 Desviación promedio entre costo presupuestado y costo real	31
Tabla 6. Extensión del tiempo de obra respecto al cronograma inicial	32
Tabla 7 Estadísticos descriptivos de variables de diagnóstico (escala Likert 1-5)	34
Tabla 8 Nivel de conocimiento de la filosofía Lean Construction	35
Tabla 9 Barreras percibidas para la implementación de Lean Construction en Salitre	37
Tabla 10. Estadísticos descriptivos de la valoración de propuestas de mejora (escala 1-5)	38
Tabla 11 Ficha técnica	65
Tabla 12 Resultados del diagnóstico	65
Tabla 13 Los 4 Pilares	67
Tabla 14 Plan Maestro	68
Tabla 15 Pull Planning	69
Tabla 16 Plan Semanal y Registro PPC	71
Tabla 17 Protocolo de Reunión Semanal Protocolo de Reunión Semanal	72
Tabla 18 Ritmo de Producción Calculado para el Proyecto	73
Tabla 19 Análisis de Restricciones	74
Tabla 20 Aulas Tipo Urbano	76

Tabla 21	Resultado B1+B2	77
Tabla 22	Prototipo Escolar Rural y Metodologías Visuales	78
Tabla 23	Manual de Mantenimiento Preventivo	80
Tabla 24	Aceptación modelo	81
Tabla 25	Cuantificación de Pérdidas	82
Tabla 26	Comparativo de Costos	83
Tabla 27	Análisis de Retorno de Inversión	84
Tabla 28	Indicadores Clave de Eficiencia	84
Tabla 29	Análisis de Beneficios por Bloque	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura1	Distribución porcentual de encuestados según cargo o rol en los proyectos	26
Figura 2	Distribución de encuestados según años de experiencia en construcción	28
Figura3	Distribución del porcentaje de desperdicio de materiales en obra	30
Figura4	Desviación promedio entre costo presupuestado y costo real	32
Figura5	Extensión del tiempo de obra respecto al cronograma inicial	33
Figura6	Valoración Likert de problemas de eficiencia en obra (escala 1-5)	35
Figura 7	Nivel de conocimiento de Lean Construction en los encuestados	36
Figura8	Barreras percibidas para la implementación de Lean Construction	38
Figura 9.	Valoración promedio de las propuestas de mejora basadas en Lean Construction (escala 1-5)	40

RESUMEN

La construcción de infraestructura educativa en zonas rurales del Ecuador enfrenta ineficiencias estructurales que comprometen la inversión pública: sobrecostos recurrentes, incumplimiento de plazos y gestión deficiente de residuos de construcción y demolición. Este trabajo desarrolla el Modelo de Gestión Lean Construction Adaptado (MGL-Rural), diseñado para el contexto técnico y social del cantón Salitre, y evalúa su impacto proyectado en eficiencia económica, cumplimiento de plazos y calidad sostenible. El diagnóstico de campo, que se llevó a cabo a través de cuestionarios estructurados aplicados a 30 responsables técnicos, reveló que 50% de los encuestados reporta que los desperdicios de materiales son iguales o superiores al 11%. Por otro lado, el 60% registra que ha tenido sobrecostos de entre el 5% y el 15%. Finalmente, 66.7% indica que ha tenido extensiones de plazo iguales o superiores al 10% respecto al cronograma inicial. Las principales causas que se identificaron fueron la logística y el acceso rural (36%). Falta de coordinación y planificación (27%). Retraso en los pagos (23%). Se integra un modelo con cuatro pilares funcionales como, el de Last Planner System en sus cuatro niveles jerárquicos (estratificador, planificador, coordinador y usuario. Takt Time visual. Protocolo Logístico Rural. Gestión de Residuos), que son operables sin software, y que tengan un costo unitario de no superar los de US\$ 200 por obra. Aplicado al presupuesto real del proyecto EEB Leónidas Plaza, que asciende a USD 131229.11, el análisis financiero comparativo proyecta resultados bastante concretos: ahorros en costos directos de entre el 4,6% y el 7,5%, reducciones de plazo de entre el 29% y el 46%, y un retorno sobre la inversión de implementación de 48,6 veces en la primera obra. A eso se suma que el modelo tuvo una aceptación del 83% entre los técnicos encuestados, lo que confirma que no solo ocurre en el papel, sino que la gente que trabaja en obra lo ve como algo viable y pertinente para la construcción educativa rural del cantón Salitre.

Palabras clave: Lean Construction, Last Planner System, infraestructura educativa rural, eficiencia constructiva, gestión de residuos de construcción y demolición, cantón Salitre.

ABSTRACT

The construction of educational infrastructure in rural areas of Ecuador faces documented structural inefficiencies that compromise public investment: recurrent cost overruns, schedule non-compliance, and poor management of construction and demolition waste. This thesis develops the Adapted Lean Construction Management Model (MGL-Rural), designed for the technical and social context of Salitre canton, and evaluates its projected impact on economic efficiency, schedule compliance, and sustainable quality. The field diagnosis, done through structured questionnaires with 30 technical managers, showed some pretty telling numbers: half of the respondents reported material waste of 11% or more, 60% said they had dealt with cost overruns somewhere between 5% and 15%, and 66.7% mentioned schedule extensions of at least 10% compared to what was originally planned. The main causes behind all this were logistics and rural access issues at 36%, lack of coordination and planning at 27%, and payment delays at 23%.

To tackle these problems, a model was put together around four practical pillars: the Last Planner System across its four levels, Visual Takt Time, a Rural Logistics Protocol, and Waste Management. The whole thing runs without any software and the cost per project stays under USD 200, which makes it realistic for contexts where resources are tight. When applied to the actual budget of the EEB Leónidas Plaza project, which came in at USD 131,239.11, the comparative financial analysis projects direct cost savings of between 4.6% and 7.5%, schedule reductions of between 29% and 46%, and a return on implementation investment of 48.6 times in the first project alone. The model achieved an acceptance rate of 83% among the surveyed technicians, confirming its relevance and viability for rural educational construction in Salitre canton.

Keywords: *Lean Construction, Last Planner System, rural educational infrastructure, construction efficiency, construction and demolition waste management, Salitre canton.*

INTRODUCCIÓN

La ejecución de obras de infraestructura educativa en zonas rurales constituye uno de los desafíos más complejos del sector de la construcción a nivel mundial. Mandičák et al. (2024) advierten que estos proyectos enfrentan obstáculos recurrentes vinculados a la dispersión geográfica, la escasez de recursos tecnológicos y la limitada capacidad institucional de los organismos ejecutores. En Ecuador, el cantón Salitre representa un caso paradigmático: sus obras escolares se desarrollan bajo restricciones presupuestarias severas, acceso logístico deficiente y escasa formación técnica especializada del personal en campo (Bravo & Caiza, 2022).

Frente a ese panorama, Lean Construction se ha ido consolidando como una forma de gestionar obras que pone el foco en eliminar todo aquello que no agrega valor y en hacer que el trabajo fluya mejor en cada etapa de la construcción. La idea de fondo es bastante simple: darle al cliente lo que necesita quitando de en medio los siete tipos de desperdicio que se repiten en los procesos constructivos, que son la sobreproducción, las esperas, los transportes innecesarios, el sobre procesamiento, los inventarios en exceso, los movimientos improductivos y los retrabajos (Morales et al., 2022). A diferencia de la administración convencional, Lean fomenta el uso de mecanismos de planificación colaborativa como el Last Planner System (LPS) que aumentan la previsibilidad del flujo de trabajo y disminuyen la variabilidad de la ejecución (Mounla et al., 2023).

La evidencia internacional respalda en gran medida la eficacia de Lean Construction. En Europa, su adopción ha sido impulsada por iniciativas estatales que tienen como finalidad mejorar la transparencia y eficiencia del gasto público (Vilutienė et al., 2020). El análisis global de inversiones que siguen principios Lean es escaso. No obstante, estudios en economías en desarrollo como los de Peña (2023) y Limaylla (2024) concluyen que la adopción de estos principios minimiza la variación del coste, disminuye el plazo de ejecución y reduce la generación de residuos de construcción y demolición (RCD). La gestión de los RCD a través de Lean cobra gran relevancia, dado que su implementación desde las primeras fases del diseño es capaz de minimizar la huella ecológica del proyecto (Ge et al., 2017) y contribuir a la economía circular (Mounla, 2025).

A pesar de que el Lean se originó en entornos productivos, su implementación en entornos rurales no es inmediata. Según Aguirre-Bastos y Weber (2018), las barreras más importantes son: la inadecuación de procedimientos al contexto local, restricciones tecnológicas y falta de formación especializada. Para que los LPS y otras herramientas Lean sean operacionales en estas condiciones, sus formatos deben ser simplificados y adaptados a la capacidad del personal técnico disponible (Mounla, 2025; Yang, 2025). Waqar y otros (2023) muestran que, cuando esta adaptación se hace sistemáticamente, Lean produce mejoras significativas, incluso en proyectos de baja tecnificación.

A partir de la óptica del control de los riesgos, la planificación detallada y el control visual de Lean, permiten identificar conflictos con antelación y así conseguir hacerlo, lejos de reajustes costosos (Peña, 2023). En entornos como Salitre, donde las oscilaciones logísticas y meteorológicas son frecuentes, este tipo de gestión juega un rol clave en el cierre de proyectos en los plazos y costos codificados (Rashidian et al., 2022). Adicionalmente, la estandarización de procesos generada bajo un sistema Lean se convierte en un instrumento esencial para la administración y mantenimiento futuro de la infraestructura (Pazmiño Manrique et al., 2018), garantizando que la inversión conserve su utilidad a largo plazo.

A pesar de los beneficios documentados, la adopción formal de Lean Construction en proyectos rurales del Ecuador se encuentra en una fase temprana, concentrada principalmente en grandes obras metropolitanas (Ratnasabapathy et al., 2019). Garcés et al. (2025) y Luis & Granda (s.f.) verifican que, aunque las investigaciones nacionales verifican los beneficios de su uso, en obra pequeña con restricciones tecnológicas su implementación está poco documentada. El autor plantea el estudio porque no existen antecedentes en el tema de los efectos de Lean Construction en indicadores de eficiencia constructiva para escuelas del cantón Salitre. Es precisamente esta falta de conocimiento la que se desea subsanar en este trabajo.

En el contexto mencionado en el presente estudio, se pretende comprobar la incidencia que tienen los principios Lean Construction en comparación con sistemas convencionales, sobre la eficiencia del proceso constructivo de las escuelas rurales de Salitre (Solaimani & Sedighi, 2020). Concretamente se medirá su efecto en la reducción de costes y plazos, la disminución de mermas de materiales y el aumento en la calidad final de la obra (Limaylla, 2024). Se creará un marco metodológico que se adapte a las

necesidades específicas del contexto: que sea económicamente viable, gestione eficazmente los RCD y sea operacionalmente sencillo para personal técnico con formación básica (Peña, 2023).

Se prevé que los resultados de esta investigación surtan efectos en tres ámbitos. Desde la perspectiva profesional, brinda un modelo validado que mejora la previsibilidad en proyectos rurales y disminuye la aversión institucional a la innovación metodológica (Vázquez-Rowe et al., 2021). Desde el lado social, el modelo promueve que el presupuesto público se use de forma transparente para entregar escuelas de calidad a tiempo y manejar mejor los residuos de construcción, lo que conecta directamente con los ODS 4, 9 y 11 (Waqar et al., 2023). Y a nivel científico, genera un caso de estudio empírico que muestra que metodologías avanzadas como Lean sí pueden adaptarse a contextos con recursos limitados, lo cual abre la puerta a futuras investigaciones y puede servir de argumento para que el Lean empiece a aparecer en las políticas nacionales de infraestructura educativa (Liang, 2025).

Este documento se desarrolla en tres partes: I) la fundamentación teórica que nos presenta los principios Lean y su aplicabilidad a un contexto rural; II) las metodologías utilizadas para alcanzar los objetivos planteados; y III) hallazgos, conclusiones y recomendaciones obtenidas del análisis empíricos.

Planteamiento de la investigación (Fundamentación de la investigación)

La construcción de infraestructura educativa en zonas rurales del Ecuador enfrenta ineficiencias estructurales documentadas: sobrecostos recurrentes, incumplimiento de plazos y manejo deficiente de residuos de construcción y demolición (RCD). El cantón Salitre sufre por factores dentro del contexto que agravan estas condiciones; el acceso logístico, presupuesto y formación técnica especializada de la mano de obra (Bravo & Caiza, 2022). Por otro lado, a nivel nacional; así como, internacional evidencia la aplicación de la metodología Lean Construction ha presentado una disminución sistemática de estas ineficiencias (Limaylla, 2024). Sin embargo, esto no significa que se transfiera de manera automática y natural a los proyectos rurales de pequeña escala. En realidad, se identificaron tres obstáculos para la implementación de Lean Construction en pequeños proyectos rurales. La tecnología utilizada para ejecutar no fue la idónea, tampoco la formación del equipo de campo o el ajuste de la metodología a la idiosincrasia y condicionantes socioeconómicas que rigen la realidad (Ershadi, et al., 2021). En otras

palabras, estas barreras justifican que en Ecuador, la adopción formal del Lean continúe concentrada en las grandes obras metropolitanas (Ratnasabapathy y col., 2019). Sin embargo, no se destina a proyectos de menor escala ni a proyectos educativos rurales. La razón principal del presente estudio es que no existe evidencia empírica que pueda referirse a la realidad de Salitre. No hay documentación ni estudios sobre la práctica ni el impacto concreto y med, es decir. Esto impide que los organismos ejecutores locales no puedan acceder a un referente metodológico adaptado a las condiciones de trabajo reales.

La presente investigación tiene como objetivo diseñar un modelo de gestión Lean que se adapte a un programa de infraestructura de estas características. A su vez, evaluar si este modelo de gestión es viable mediante su aplicación en un caso piloto del programa descrito, caracterizado por su contexto técnico y social en Salitre. Este método genera datos empíricos sobre cómo ese modelo permite reducir los costos, el cumplimiento de los cronogramas y la reducción de residuos, de manera que sea un caso replicable en obras similares en la región.

Justificación y Relevancia del Trabajo:

Esta investigación busca llenar el vacío de conocimiento primario al proponer un modelo de gestión basado en Lean Construction simplificado y contextualizado para el cantón Salitre. Desde la perspectiva profesional y científica, este esfuerzo permitirá validar el potencial de la metodología Lean para superar la brecha tecnológica regional, aportando un modelo contextualizado que responda a las necesidades específicas de los entornos rurales y sirva como base para futuras intervenciones en contextos similares. El estudio tiene como objetivo la validación funcional a través de un prototipo que integre las metodologías BIM y Lean Construction como una herramienta que ayude a las PYMES constructoras de vivienda a administrar de manera eficiente a través de la obra, garantizar los recursos en obra o producción de elementos que otorguen un producto final de calidad. Además, pretende servir como una fuente práctica para que los interesados estudien el tema y reproduzcan el prototipo como incentivo y promoción de la innovación en las PYME. Las metas globales buscan ofrecer evidencia concreta del impacto real de la intervención de Lean Construction en la reducción de actividades que en el presente se consideran que generan ineficiencias y proponer una metodología viable para una pequeña obra. Desde lo social, la investigación busca infraestructura educativa de calidad que repercuta en las escuelas colegas y su perdurabilidad.

Formulación del problema de investigación

¿Cuál es el impacto de la aplicación de la metodología integradas Lean Construction, en comparación con los métodos tradicionales de gestión, sobre la eficiencia constructiva de escuelas rurales en salitre?

Objetivo General:

Desarrollar un modelo de gestión Lean Construction adaptado a las condiciones técnicas y sociales de Salitre, evaluando su impacto en eficiencia económica, cumplimiento de plazos y calidad sostenible.

Objetivos Específicos:

O.E.1.-Diagnosticar las condiciones actuales de los procesos constructivos de escuelas rurales en Salitre, mediante encuestas a los responsables técnicos de los mantenimientos de infraestructura realizados para la identificación de ineficiencias, niveles de desperdicio de materiales, desviaciones en costos y plazos.

O.E.2.- Diseñar un modelo de gestión integrado basado en Lean Construction que esté adaptado a la realidad rural, con lineamientos concretos para la planificación colaborativa, estrategias para reducir desperdicios y propuestas de prototipos escolares con manuales de mantenimiento que cualquiera pueda entender, usando representaciones físicas y metodologías visuales de bajo costo para que los actores locales puedan adoptarlo sin complicaciones.

O.E.3.- Evaluar qué tan rentable y eficiente en costos es el modelo Lean Construction adaptado, comparando sus resultados financieros con los métodos de construcción tradicionales en los proyectos de infraestructura educativa del cantón Salitre.

Planteamiento hipotético

Se desarrollo un sistema de gestión para la construcción adaptada a la realidad de las escuelas rurales de Salitre basado en Lean Construction como resultado de una investigación. La adopción de BIM permitirá construir de manera más eficiente, lo cual se reflejará en una disminución de costos y plazos, en una mejor gestión de los RCD y en

una mayor calidad de la obra final respecto de los sistemas de gestión utilizados habitualmente.

H.E.1.- Los métodos constructivos se traducen en un desperdicio de material de más de 10%, y en una variación de costo y plazos de más de 15% respecto a lo presupuestado y planeado, en el caso de las escuelas rurales de Salitre.

H.E.2.- Llenar un modelo de gestión Lean Construction simplificado y adaptado a la realidad rural Salitre que a través de modelos visuales de bajo costo permita una alta aceptación y facilidad de uso de los técnicos y actores locales.

H.E.3.- Se estima que la implementación del modelo Lean Construction propuesto, adaptado a proyectos de infraestructura educativa ubicados en Salitre, será más eficiente en cuanto a costos y tiempos, que los procesos convencionales con una disminución de costo mínima del 8% y un ahorro en el tiempo total del cronograma del 12%.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Para los títulos de los epígrafes se utilizarán los estilos que aparecen en los ejemplos que continúan:

1.1. Revisión de literatura

El análisis de investigaciones precedentes permite situar el presente estudio dentro de un corpus académico consolidado sobre la aplicación de metodologías de gestión eficiente en entornos constructivos con recursos limitados. La revisión se organiza en cuatro subtemas directamente vinculados al objetivo del estudio: Lean Construction en obra pública, Lean en contextos rurales y de baja tecnificación, Last Planner System como herramienta operativa, y gestión de residuos de construcción y demolición (RCD).

1.1.1. Lean Construction en obra pública

Garcés et al. (2025) establecen una relación directa entre los principios del sistema Lean y la obtención de mayores índices de sostenibilidad y eficiencia operativa en proyectos de infraestructura pública. Su aporte específico al presente estudio radica en que identifican, mediante revisión sistemática de literatura de primer nivel, que la reducción de tiempos de espera entre actividades y la estandarización de procesos son los factores que más impacto tienen en la eficiencia de obras públicas, lo cual fundamenta la selección del LPS como herramienta central del modelo MGL-Rural. Peña (2023), por su parte, analiza casos latinoamericanos de aplicación de Lean en obra pública y cuantifica reducciones de desviación presupuestaria de entre el 4% y el 8%, con mejoras en el cumplimiento del cronograma de hasta el 30%. Este rango de resultados es directamente comparable con los indicadores de ineficiencia medidos en el cantón Salitre, lo que le da validez regional a las proyecciones del modelo propuesto. Bravo y Caiza (2022), únicos antecedentes nacionales directos, documentan la implementación de Lean en proyectos ecuatorianos de obra pública y demuestran que la supresión de actividades no productivas y el control sistemático del valor agregado son viables en el contexto institucional del país, aportando evidencia de que las barreras culturales e institucionales para adoptar Lean en Ecuador son superables con un diseño metodológico adaptado.

1.1.2. Lean Construction en contextos rurales y de baja tecnificación

La transferencia de Lean a entornos rurales no es automática. Waqar et al. (2023) examinaron la aplicación de metodologías de gestión innovadoras en proyectos de

construcción de menor envergadura, confirmando que estas herramientas potencian la sostenibilidad ambiental y optimizan la gestión de materiales cuando se adaptan a las capacidades reales del equipo ejecutor. Sus hallazgos dejan claro que simplificar los procedimientos operativos no es opcional, es algo necesario para que estas herramientas se adopten en contextos donde la tecnificación es baja. Limaylla (2024) corrobora esta postura al señalar que los beneficios de Lean en productividad y reducción de costos son replicables en entornos con restricciones, siempre que exista una fase previa de adaptación metodológica. Xu et al. (2023), a partir de una revisión sistemática de barreras para la adopción de Lean en economías en desarrollo, identifican que la falta de formación del personal, la resistencia al cambio institucional y la ausencia de protocolos adaptados al contexto son las tres barreras más frecuentes, todas ellas presentes en el diagnóstico de campo del cantón Salitre. Nsengimana y Ugwu (2024), en un estudio de caso en Uganda con condiciones socioeconómicas comparables a las de Salitre, demuestran que proyectos de pequeña escala pueden lograr reducciones de plazo de hasta el 25% al implementar el LPS por primera vez, incluso sin software ni personal altamente cualificado. Liang (2025) evidencia además que la brecha entre herramientas avanzadas de gestión y las prácticas constructivas locales puede reducirse mediante protocolos simplificados orientados al personal técnico con formación básica, lo que respalda directamente la estrategia de adaptación adoptada en el modelo MGL-Rural.

1.1.3. Last Planner System (LPS) como herramienta operativa

El Last Planner System constituye la herramienta operativa central de Lean Construction para la planificación colaborativa en obra. Morales et al. (2022) describen cómo el LPS incrementa la predictibilidad del flujo de trabajo al comprometer a los responsables directos de cada actividad con compromisos concretos y verificables, reduciendo la variabilidad en la ejecución. Al Hattab et al. (2023) amplían este análisis al campo del diseño arquitectónico, demostrando que el LPS incrementa la fiabilidad de la planificación incluso en fases no constructivas, lo que valida su aplicabilidad transversal en el ciclo de vida del proyecto. Power et al. (2024) proponen la integración del LPS con Takt Time y metodologías ágiles como Scrum, obteniendo mejoras adicionales en la entrega de proyectos que superan lo logrado con el LPS en solitario. Wilkinson et al. (2020) documentan, a partir del análisis de fallos sistémicos en la implementación del LPS, cuáles son las causas más frecuentes de abandono o degradación del sistema en contextos con baja madurez organizacional, identificando que la falta de seguimiento del

PPC y la ausencia de reuniones regulares son los factores que más rápidamente erosionan su efectividad. Mounla et al. (2023) proponen que, para su implementación en contextos con personal de baja cualificación, el LPS debe simplificarse en sus formatos de registro y presentarse con indicadores visuales de fácil interpretación, sin comprometer la eficacia del sistema.

A eso se suma otro punto importante: la planificación detallada y el control visual inherentes al LPS permiten además identificar conflictos con antelación, reduciendo reajustes costosos durante la ejecución (Peña, 2023). Es decir, no solo se trata de organizar mejor el trabajo, sino de anticiparse a los problemas antes de que se conviertan en algo que pare la obra o dispare los costos.

1.1.4. Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD)

La gestión de RCD representa uno de los focos de mayor impacto ambiental y económico en obras de pequeña escala. Behúnová et al. (2024) evaluaron, a partir del análisis de proyectos europeos, cómo metodologías de gestión avanzada inciden en la reducción y aprovechamiento de residuos dentro del sector constructivo, concluyendo que su integración desde las etapas iniciales del diseño disminuye significativamente la huella ecológica del proyecto. Mounla et al. (2025) profundizan en esta línea al fusionar criterios de sostenibilidad con la selección de materiales mediante evaluación multicriterio, demostrando que decisiones tempranas de diseño tienen consecuencias directas sobre el volumen de RCD generado. Y es algo que en la práctica se ignora con frecuencia, porque muchos equipos tratan los residuos como un problema del final de la obra, cuando en realidad el origen está mucho antes, en las primeras decisiones que se toman sobre materiales y diseño.

Desde la perspectiva de Lean, Mounla (2025) propone que la eliminación sistemática de desperdicios inherente a esta filosofía aplicada a la gestión de inventarios y a la programación justo a tiempo reduce la generación de RCD al evitar la sobrecompra y el deterioro de materiales en obra. En términos simples, comprar lo justo, en el momento correcto y almacenarlo bien no solo ahorra dinero sino que también genera menos basura en la obra, lo cual tiene un impacto real tanto económico como ambiental.

Tabla 1*Comparativa de antecedentes de investigación*

Autor(es) y año	País / Contexto	Método	Hallazgo principal	Aporte al presente estudio
Garcés et al. (2025)	Internacional / Infraestructura pública	Revisión sistemática	Lean mejora sostenibilidad y eficiencia operativa en obra pública	Marco conceptual para aplicación de Lean en proyectos con fondos públicos
Waqar et al. (2023)	Asia / Construcción de menor escala	Mixto (cualitativo-cuantitativo)	Herramientas de gestión innovadoras optimizan materiales y sostenibilidad cuando se adaptan al contexto	Evidencia de adaptabilidad de Lean a proyectos pequeños con baja tecnificación
Liang (2025)	Nepal / Construcción	Comparativo (tradicional vs. avanzado)	La brecha entre herramientas avanzadas y práctica local se reduce con protocolos simplificados	Base para diseñar protocolos Lean adaptados al personal técnico de Salitre
El Mounla et al. (2025)	Europa / Construcción sostenible	BIM 4D + evaluación multicriterio	Decisiones tempranas de diseño reducen RCD y mejoran sostenibilidad	Criterios para incorporar gestión de RCD desde el diseño del modelo Lean
Behúnová et al. (2024)	Europa / Sector constructivo	Análisis de proyectos reales	Metodologías avanzadas de gestión reducen generación y mejoran aprovechamiento de RCD	Referente para la dimensión ambiental del modelo propuesto en Salitre
Peña (2023)	Latinoamérica / Obra pública	Estudio de caso	Lean reduce fluctuación presupuestaria y mejora cumplimiento de cronogramas	Validación regional del potencial de Lean en contextos similares al de Salitre

Limaylla (2024)	Latinoamérica / Construcción con restricciones	Revisión y propuesta	Beneficios de Lean son replicables en entornos limitados con adaptación previa	Justificación metodológica para la fase de adaptación del modelo
Morales et al. (2022)	Internacional / Planificación de obra	Análisis conceptual y aplicado	LPS incrementa predictibilidad del flujo de trabajo y reduce variabilidad	Fundamento operativo del componente de planificación del modelo propuesto
Mounla et al. (2023)	Internacional / Lean en campo	Propuesta metodológica	LPS simplificado es viable para personal con formación básica	Criterio de diseño para la versión adaptada del LPS en Salitre
Bravo & Caiza (2022)	Ecuador / Obra pública	Análisis de caso nacional	Lean suprime actividades no productivas y mejora control de costos en obra pública ecuatoriana	Único antecedente nacional directo; válida pertinencia del estudio en el contexto ecuatoriano

Nota: Elaboración propia

1.2. Desarrollo teórico y conceptual

1.2.1. Lean Construction: filosofía, principios y fundamentos

Lean Construction es una filosofía de gestión de la producción derivada del Sistema de Producción Toyota, adaptada al sector de la construcción por Koskela (1992) a partir de su propuesta de concebir la obra no como una secuencia de actividades aisladas, sino como un sistema de flujos interdependientes. Su principio rector es la creación de valor para el cliente mediante la eliminación sistemática de todo aquello que no contribuye a ese valor, denominado desperdicio o *muda* (Morales et al., 2022). A diferencia de la gestión convencional, que se enfoca en la optimización de actividades individuales, Lean busca optimizar el sistema completo de producción.

Los tres conceptos estructurales de Lean Construction son valor, flujo y desperdicio. El valor se define desde la perspectiva del cliente final, en este caso la comunidad educativa de Salitre, y abarca no solo las especificaciones técnicas del

edificio, sino también la oportunidad de entrega, la calidad constructiva y el impacto ambiental mínimo. El flujo refiere a la continuidad y predictibilidad con que avanzan los trabajos en obra: un flujo eficiente es aquel en que cada actividad inicia cuando la anterior ha concluido correctamente, sin interrupciones por falta de insumos, información o espacio (Bravo & Caiza, 2022). El desperdicio comprende toda actividad que consume tiempo, recursos o esfuerzo sin generar valor. Lean identifica ocho categorías: sobreproducción, esperas, transporte innecesario, sobre procesamiento, inventarios en exceso, movimientos improductivos, retrabajos y talento no utilizado (Morales et al., 2022). Aravindh et al. (2022) cuantifican en proyectos asiáticos que la eliminación sistemática de estas categorías de desperdicio produce reducciones de costo de entre el 8% y el 15%, validando empíricamente que los beneficios de Lean no son teóricos sino medibles. Bajjou y Chafi (2020) identifican los factores críticos de desperdicio en proyectos de construcción y demuestran que una gestión Lean bien implementada puede eliminar entre el 60% y el 80% de los desperdicios evitables en obra. Ogunbiyi et al. (2020), en un estudio de campo en Nigeria, confirman que incluso en economías con recursos limitados y baja tecnificación, la aplicación de prácticas Lean produce mejoras medibles en productividad y reducción de desperdicios, lo cual es directamente relevante para el contexto del cantón Salitre.

Y en contextos como las obras rurales con recursos limitados, esto se vuelve todavía más crítico. En el caso de las escuelas del cantón Salitre, cada recurso que se malgasta es plata pública que no llega a convertirse en infraestructura real para la comunidad (Peña, 2023). Por eso eliminar estos desperdicios no es solo una cuestión de eficiencia técnica, sino de responsabilidad con la gente que depende de esas obras.

1.2.2. Last Planner System (LPS)

El Last Planner System es la herramienta operativa central de Lean Construction para la planificación y control de obra. Desarrollado por Ballard & Howell en la década de 1990, el LPS desplaza la responsabilidad de la planificación detallada hacia los "últimos planificadores": los capataces, maestros de obra y responsables directos de cada actividad, quienes son quienes mejor conocen las condiciones reales de ejecución (Morales et al., 2022). Desde el punto de vista normativo, el LPS guarda coherencia con los principios de la norma ISO 21502:2020 (Gestión de proyectos, programas, carteras y su gobernanza), que establece la planificación estructurada por fases, la identificación

anticipada de restricciones y el seguimiento sistemático del desempeño como buenas prácticas universales de gestión. Asimismo, el ciclo Plan-Do-Check-Act que opera en el LPS coincide con el marco de procesos que el Project Management Institute (PMI) documenta en el PMBOK, particularmente en las áreas de Gestión del Cronograma y Gestión de los Recursos. Esta alineación con estándares internacionales confirma que el LPS no es una herramienta alternativa a la gestión formal de proyectos, sino una forma operativa de implementar sus principios en el contexto específico de la construcción en obra.

El LPS opera en tres horizontes temporales articulados. El plan maestro establece los hitos generales del proyecto. El Lookahead Planning o planificación intermedia proyecta el trabajo con un horizonte de tres a seis semanas, identificando con anticipación las restricciones que podrían impedir la ejecución falta de materiales, indefiniciones de diseño, disponibilidad de mano de obra para eliminarlas antes de que afecten el flujo productivo. Finalmente, el plan semanal de trabajo define los compromisos concretos de cada equipo para los próximos siete días, basándose únicamente en actividades cuyas restricciones han sido levantadas (Mounla et al., 2023).

El indicador central del LPS es el Porcentaje de Plan Completado, conocido como PPC, que mide qué proporción de las actividades programadas en el plan semanal se ejecutaron de verdad. Cuando el PPC es alto indica que el flujo de trabajo es predecible y está bien gestionado, y cuando es bajo es una señal de que hay problemas sistémicos en la planificación o el suministro que hay que analizar registrando las causas de cada incumplimiento (Rashidian et al., 2022). Para aplicarlo en Salitre, Mounla et al. (2023) recomiendan simplificar los formatos del LPS a registros visuales de fácil interpretación, garantizando su adopción por personal técnico con formación básica sin sacrificar la rigurosidad del sistema. En otras palabras, que sea simple de usar no significa que sea menos efectivo.

1.2.3. Takt Time

El Takt Time es un concepto Lean tomado de la manufactura que establece el ritmo al que debe avanzar la producción para satisfacer la demanda del cliente dentro del plazo disponible. En construcción, se define como el cociente entre el tiempo total disponible para ejecutar una zona de trabajo y el número de unidades (frentes, plantas o módulos) que deben completarse en ese periodo (Garcés et al., 2025). Nakagawa y

Alarcón (2022) documentan la implementación de Takt Time en proyectos residenciales latinoamericanos, obteniendo reducciones de plazo de entre el 20% y el 35% al eliminar los tiempos de espera entre cuadrillas mediante la sincronización del ritmo de producción. Power et al. (2024) demuestran que la combinación de LPS y Takt Time produce resultados superiores a cualquiera de las dos herramientas por separado, fundamentando la decisión de integrar ambas en el modelo MGL-Rural propuesto.

En obras educativas rurales esto se traduce en partir el proyecto en zonas de trabajo de tamaño similar, donde cada cuadrilla trabaja a un ritmo constante y va coordinada con las demás. Así se evitan dos problemas que se ven todo el tiempo en obra: que algunos frentes estén saturados de trabajo mientras otros están completamente parados. Lo que se logra es un flujo continuo que funciona de forma parecida a una línea de producción, pero aplicado a la construcción y sin necesidad de tecnología sofisticada.

En el contexto de Salitre, donde no siempre hay cuadrillas especializadas disponibles, el Takt Time ayuda a organizar mejor la secuencia de trabajo con los recursos humanos que hay, sacándoles el máximo provecho y reduciendo los tiempos de espera entre una actividad y la siguiente (Limaylla, 2024).

1.2.4. Mejora continua (Kaizen)

La mejora continua, conocida en el sistema Lean como *Kaizen*, establece que los procesos constructivos nunca son definitivos: siempre existe una forma de ejecutarlos con menos desperdicio, mayor seguridad o mejor calidad. En la práctica de obra, Kaizen funciona con ciclos de revisión que se repiten constantemente: al final de cada semana o fase, el equipo se sienta a ver qué no se cumplió del PPC, qué desperdicios siguen apareciendo y qué se puede hacer diferente en el siguiente ciclo (Peña, 2023). No es complicado, es simplemente el hábito de revisar, aprender y ajustar antes de que los problemas se acumulen.

Y en entornos rurales ese hábito vale doble. Porque además de mejorar la ejecución, cada ciclo de análisis va capacitando al equipo sin que nadie lo note como capacitación formal. Rodríguez et al. (2023), documentando la implementación del LPS en proyectos de infraestructura pública en Chile, señalan que los equipos que incorporaron ciclos de retroalimentación semanal (análisis de causas de no cumplimiento del PPC) lograron mejoras del 15-25% en su Porcentaje de Plan Completado en un período de solo cuatro semanas, evidenciando que Kaizen funciona incluso con equipos

sin formación previa en metodologías de mejora. Abdullahi y Tembo (2023) confirman en contextos africanos que la mejora continua de procesos de planificación y programación, incluso mediante herramientas simples como tableros físicos y reuniones cortas, incrementa consistentemente la eficiencia constructiva. Aslam et al. (2020) aportan un marco para seleccionar herramientas Lean según los objetivos y funciones específicas de cada proyecto, lo cual fundamenta la selección de Kaizen como herramienta de cierre de fase en el modelo MGL-Rural. Para el modelo propuesto en Salitre, Kaizen se incorpora como un componente de cierre de cada fase de ejecución, vinculado directamente al registro de causas de no cumplimiento del LPS.

1.2.5. Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) desde la perspectiva Lean

Los residuos de construcción y demolición representan uno de los impactos ambientales y económicos más significativos de la industria constructiva. Desde la perspectiva Lean, los RCD no son algo inevitable que simplemente hay que aceptar, sino una señal clara de que algo en el proceso no está funcionando bien: sobrecompra de materiales, mal manejo en obra, cortes sin optimizar y retrabajos por errores de ejecución (Behúnová et al., 2024). La gestión sistemática de estos residuos encuentra además un marco normativo internacional en la norma ISO 14001:2015 (Sistemas de Gestión Ambiental), que establece la identificación de aspectos ambientales significativos, la definición de objetivos de reducción medibles y la implementación de controles operacionales para minimizar el impacto ambiental de los procesos productivos. Para el contexto de la construcción rural, articular la gestión Lean de RCD con los lineamientos de la ISO 14001 permite dotar al modelo de una dimensión ambiental formalmente reconocida, superando el enfoque puramente empírico que actualmente predomina en las obras del cantón Salitre.

La gestión Lean de RCD actúa en dos momentos distintos. En la etapa de diseño y planificación, Mounla et al. (2025) demuestran que decisiones tempranas sobre selección de materiales, modulación constructiva y secuencia de montaje pueden reducir drásticamente el volumen de residuos generados. Pellegrini et al. (2023) complementan este enfoque revisitando el concepto de desperdicio en construcción desde una perspectiva analítica y conceptual, identificando que más del 60% del desperdicio en obra tiene origen en deficiencias de planificación previa y no en errores durante la ejecución.

Jørgensen y Emmitt (2022) vinculan explícitamente la gestión de residuos con la sostenibilidad constructiva, argumentando que Lean Construction ofrece el marco metodológico más completo para abordar simultáneamente la eficiencia económica y la reducción del impacto ambiental en proyectos de pequeña y mediana escala. En la etapa de ejecución, la programación justo a tiempo de los suministros, característica central del LPS, evita que se acumulen materiales en obra, reduciendo su deterioro y los residuos generados por almacenamiento prolongado (Mounla, 2025). Esta doble intervención, en diseño y en ejecución, se alinea con los principios de economía circular que prioriza reducir desde el origen antes que reciclar después, algo especialmente crítico en Salitre donde la capacidad de gestión de residuos fuera del sitio de obra es bastante limitada.

1.2.6. BIM como herramienta de apoyo al modelo Lean

Si bien el eje del presente estudio es la filosofía Lean Construction, el Building Information Modeling (BIM) se incorpora como herramienta de soporte en funciones específicas donde su valor es tangible incluso en contextos de recursos limitados. BIM es una metodología de trabajo colaborativo basada en un modelo digital que centraliza la información geométrica, técnica y de gestión del proyecto (Vilutienė et al., 2020). Evans y Farrell (2023) proponen un marco estratégico para integrar Lean Construction con BIM en proyectos de gran escala, identificando que la detección temprana de interferencias y la optimización del flujo de trabajo son los principales puntos de valor de esta integración. Adhi et al. (2023), en un contexto de desarrollo similar al ecuatoriano, demuestran que la integración de Lean y BIM mejora el compromiso de los actores con la sostenibilidad constructiva, reduciendo el desperdicio desde la etapa de diseño. Kara et al. (2021) documentan la implementación de Lean y LPS en proyectos de estaciones de metro, obteniendo resultados positivos en control de plazo y coordinación entre especialidades que son directamente transferibles a proyectos de infraestructura educativa. Las dimensiones BIM más útiles para este estudio son la 4D, que vincula el modelo con el cronograma de obra, y la 5D, que integra los costos al modelo tridimensional. Juntas permiten ver cómo cualquier cambio en la planificación afecta el presupuesto antes de que ese cambio se ejecute en obra, lo cual es una ventaja enorme para evitar sorpresas (Liang, 2025).

En el modelo Lean propuesto, BIM entra a jugar en campo de tres formas distintas. Antes de que arranque la obra ayuda a detectar cuando dos especialidades van a interferir

en el mismo espacio, algo que si no se ve a tiempo termina en retrabajos que cuestan caro. También sirve para calcular con precisión qué materiales se necesitan y cuándo, lo que alimenta directamente la programación justo a tiempo del LPS. Y por último, las simulaciones 4D permiten mostrarle al equipo cómo debe avanzar el trabajo de forma visual, sin necesidad de que alguien les explique con tecnicismos lo que tienen que hacer. Son tres cosas muy prácticas que marcan una diferencia real en cómo se ejecuta la obra. Y lo mejor es que esto no requiere tecnología de punta ni equipos costosos. Waqar et al. (2023) demuestran que incluso versiones básicas de modelado BIM generan mejoras medibles en proyectos de pequeña escala cuando se combinan con una gestión Lean bien implementada. Es decir, no hace falta tener el software más avanzado del mercado para sacarle provecho a BIM, con una versión básica y una buena gestión Lean ya se pueden ver resultados concretos.

1.2.7. Marco normativo de gestión de proyectos: ISO 21502 y PMI

La norma ISO 21502:2020 —Gestión de proyectos, programas, carteras y su gobernanza: orientación sobre la gestión del proyecto— constituye el marco normativo internacional de referencia para la planificación y control de proyectos de construcción. Esta norma establece como buenas prácticas universales: la planificación estructurada por fases con revisión de restricciones antes de cada etapa, la identificación anticipada de riesgos y su integración en el cronograma, el seguimiento sistemático del desempeño mediante indicadores verificables, y la rendición de cuentas a los interesados con informes periódicos de avance (ISO 21502:2020). Estas cuatro prácticas tienen una correspondencia directa con los cuatro niveles operativos del Last Planner System propuesto en el modelo MGL-Rural: el Plan Maestro corresponde a la planificación por fases de la norma; el Pull Planning responde a la identificación y levantamiento anticipado de restricciones; el Lookahead de 6 semanas provee el seguimiento de desempeño; y el Plan Semanal con cálculo del PPC constituye el mecanismo de rendición de cuentas al nivel operativo. Esta alineación garantiza que el LPS no opere como una práctica empírica aislada, sino como una herramienta sistemática inscrita en los estándares que rigen la gestión de proyectos de infraestructura pública a nivel global.

El Project Management Institute (PMI), a través del PMBOK Guide (7.^a edición, 2021), complementa la ISO 21502 desde una perspectiva orientada a principios. El PMBOK define doce principios de gestión de proyectos, de los cuales cuatro son

especialmente relevantes para el modelo MGL-Rural: liderazgo colaborativo del equipo, que en el LPS se materializa en la participación activa de maestros de obra y capataces en la planificación semanal; entrega de valor, que en el contexto Lean se traduce en eliminar todo desperdicio que no agregue valor a la obra terminada; adaptabilidad y resiliencia, que en el protocolo logístico rural se expresa en las soluciones de contingencia para acceso y materiales; y pensamiento sistémico, que en el modelo MGL-Rural se refleja en la integración de los cuatro pilares operativos como un sistema interdependiente. La incorporación de estos marcos normativos en el diseño del modelo valida que las intervenciones propuestas responden a estándares de gestión con reconocimiento internacional, lo que fortalece la solidez del modelo más allá del enfoque conceptual.

1.2.8. Marco normativo ambiental: ISO 14001 y gestión de RCD

La norma ISO 14001:2015 —Sistemas de Gestión Ambiental: Requisitos con orientación para su uso— provee el marco formal para articular la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) del modelo MGL-Rural con estándares ambientales reconocidos internacionalmente. La norma estructura su aplicación en cuatro bloques con equivalencia directa en el pilar de gestión de RCD propuesto: (1) Identificación de aspectos ambientales significativos: en el contexto de la construcción educativa rural, los aspectos identificados son la generación de escombros de hormigón y mampostera, los residuos metálicos procedentes de la estructura ASTM A36, los empaques y sobrantes de materiales de acabado, y los efluentes del biodigestor durante la fase de instalación. (2) Definición de objetivos de reducción medibles: el modelo establece como meta verificable la reducción del índice de tasa de desperdicio (ITD) del 9.8% de la línea base al 5.5% en el escenario moderado. (3) Implementación de controles operacionales: en el MGL-Rural, estos controles se materializan en la separación in situ de RCD en tres corrientes (materiales recuperables, escombros inertes y residuos peligrosos), el uso de registros diarios de volumen generado, y la coordinación con el GAD cantonal para la disposición final conforme a la normativa municipal. (4) Seguimiento y medición del desempeño ambiental: el indicador ITD opera como el indicador de desempeño ambiental exigido por la ISO 14001, cerrando el ciclo de mejora continua Plan-Do-Check-Act que la norma requiere como estructura mínima de cualquier sistema de gestión ambiental certificable.

Vázquez-Rowe et al. (2021) demuestran que la gestión estructurada de residuos de construcción en Ecuador puede reducir el impacto ambiental del sector entre un 18% y un 34% cuando se aplican protocolos de separación en origen y disposición diferenciada, cifras alcanzables en contextos rurales de baja tecnificación. Jørgensen y Emmitt (2022) confirman que la integración de Lean Construction con sistemas de gestión ambiental tipo ISO 14001 genera sinergias positivas: la eliminación de desperdicios productivos propia del Lean reduce automáticamente la generación de RCD, mientras que los controles ambientales de la norma proporcionan la trazabilidad necesaria para documentar esa reducción como evidencia verificable. Esta doble dinámica fortalece la validez del modelo, proyectándolo como una herramienta sistemática con base normativa ambiental reconocida, superando el enfoque puramente empírico que actualmente predomina en las obras del cantón Salitre.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Contexto de la investigación

El presente estudio se desarrolla en el cantón Salitre, provincia del Guayas, Ecuador, territorio que concentra características representativas de la ruralidad costera ecuatoriana: acceso restringido a herramientas digitales, formación técnica local limitada y prácticas constructivas basadas predominantemente en métodos tradicionales transmitidos por experiencia empírica. El cantón tiene una red de infraestructura educativa repartida en recintos que no siempre son fáciles de alcanzar logísticamente, y cuya construcción y mantenimiento depende de organismos públicos que trabajan con presupuestos ajustados y equipos técnicos que no siempre tienen una formación muy especializada.

El período de análisis abarca obras de infraestructura educativa ejecutadas entre 2015 y 2025, un rango de tiempo que permite ver tanto cómo se trabajaba antes de la pandemia como los cambios que vinieron después, lo que da una muestra bastante variada de contextos y condiciones de ejecución.

2.2. Diseño y alcance de la investigación

La investigación adopta un diseño no experimental, transversal y propositivo. No experimental porque no se manipulan variables ni se asignan grupos de intervención; el investigador observa y analiza la realidad tal como se ha producido. Transversal porque los datos se recopilan en un momento único, sin seguimiento longitudinal. Propositivo porque el producto final es un modelo de gestión Lean adaptado al contexto, cuya viabilidad se evalúa mediante simulación comparativa con datos reales de obras documentadas.

No es posible aplicar aquí un diseño cuasi-experimental. Ninguno de los trabajos del corpus fue interferido por el modelo Lean, por lo que no hay forma posible de construir grupos de tratamiento y control en tiempo real comparables, y intentarlo sería metodológicamente incorrecto. Lo que se hace es más simple: se enfoca en el rendimiento pasado de obras realizadas mediante el método tradicional y se compara con lo que el modelo Lean predice para esos mismos datos. Dado que ambos lados comienzan desde el

mismo punto, la comparación es válida. Así la comparación es justa y tiene coherencia interna. Es una forma honesta de ver qué hubiera pasado si se hubiera trabajado diferente. Es una forma de ver qué hubiera pasado si se hubiera trabajado diferente, usando la información real que ya existe.

El estudio es descriptivo y propositivo. Descriptivo en su primera fase, al caracterizar los indicadores de eficiencia costo, plazo y generación de RCD de las obras del corpus documental. Propositivo en su segunda fase, al diseñar el modelo Lean adaptado y proyectar su impacto sobre esos mismos indicadores mediante simulación con datos reales.

2.3. Enfoque y método de investigación

El estudio adopta un enfoque mixto secuencial organizado en dos fases consecutivas. En la fase cuantitativa se trabaja con los datos concretos que están en los expedientes documentales de las obras: costos de ejecución, desviaciones presupuestarias, plazos reales versus los que estaban programados y los volúmenes de residuos registrados. Son números que ya existen y que permiten ver de forma objetiva cómo se han manejado las obras. En la fase cualitativa la cosa cambia un poco, porque acá lo que interesa es escuchar a la gente. Se recogen las percepciones, experiencias y criterios de técnicos y gestores a través de un cuestionario estructurado y entrevistas más profundas, con el objetivo de entender cuáles son las barreras reales que existen para implementar el modelo y qué factores del contexto específico de Salitre podrían facilitar ese proceso.

Se utiliza el método hipotético-deductivo: a partir del marco teórico y de los antecedentes revisados se construyen unos supuestos que luego serán contrastados con la evidencia empírica que se recogió en campo y en archivos documentales. Es decir, primero se sumite lo que se espera encontrar y luego se va a la realidad a ver si los datos lo confirman o no. Se incorpora en el modelo el análisis de la evolución histórica del fenómeno.

Unidades de análisis: El estudio trabaja con dos unidades de análisis complementarias y diferenciadas:

- **Unidad de análisis primaria:** los seis expedientes documentales de obras de infraestructura educativa seleccionadas, de los que se extraen indicadores cuantitativos de eficiencia constructiva.

- **Unidad de análisis secundaria:** los técnicos y profesionales vinculados a la gestión de infraestructura educativa en el cantón Salitre, de quienes se recogen percepciones y criterios mediante instrumentos de campo.

2.4. Población y muestra

Población documental: La totalidad de obras de infraestructura educativa ejecutadas en el cantón Salitre entre 2015 y 2025 con financiamiento público, identificadas a través del Sistema Nacional de Contratación Pública (SERCOP) y los archivos del Distrito de Educación correspondiente.

Muestra documental: se seleccionaron seis obras por muestreo intencional. Para entrar, cada obra tenía que estar terminada y liquidada con expediente completo, incluyendo presupuesto referencial, planilla de avance, cronograma valorado e informe de cierre; ser exclusivamente de infraestructura educativa básica o bachillerato; y estar en área rural del cantón Salitre. Las obras que están paralizadas, en litigio o con expedientes incompletos fueron excluidas. Las seis obras seleccionadas tienen variedad entre sí: dos de baja inversión, dos de inversión media y dos de alta inversión, algunas son de un solo piso y otras de dos pisos, y dos para cada período de cinco años del período analizado. La intención no era lograr algo estadísticamente representativo, sino más bien descriptivo e ilustrativo que refleje el verdadero espectro de las condiciones del cantón.

Población de técnicos: profesionales vinculados a la Dirección de Educación, al GAD Municipal del Salitre, o a empresas constructoras con contratos públicos, que hayan tenido participación directa en la gestión, supervisión o vigilancia de obras educativas durante el período de estudio. Muestra de técnicos: 30 seleccionados por perfil. Otro compromiso solicita que en el caso de la adjudicación del contrato al oferente se proceda a la firma del contrato correspondiente. Quedaron afuera los que solo tienen experiencia en obra privada y los que no pudieron comunicarse en la recolección.

El equipo de trabajo estuvo integrado por fiscalizadores, vecinos, personal de mantenimiento, administradores públicos y representantes de las constructoras; respectivamente, 8, 8, 7, 4, 3. Tener esas distintas miradas en la misma muestra enriquece bastante el análisis porque no todos ven la obra desde el mismo lugar.

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Revisión documental: Técnica principal del estudio. Se analizarán los expedientes completos de las seis obras seleccionadas, extrayendo sistemáticamente:

presupuesto referencial y costo final de ejecución (para calcular desviación porcentual de costos), cronograma programado y fecha real de entrega (para calcular desviación de plazo), y registros de residuos o estimaciones basadas en planillas de materiales (para estimar volumen de RCD). Los datos se registrarán en una ficha documental estandarizada diseñada específicamente para este estudio, con campos fijos que garantizan la comparabilidad entre obras.

Cuestionario estructurado: Instrumento de campo aplicado a los treinta técnicos, cuya estructura completa se presenta en el Anexo 1 del presente trabajo. Organizado en cuatro dimensiones operacionalizadas:

Dimensión	Variable medida	Ítems	Escala
Prácticas actuales de planificación	Nivel de uso de herramientas de programación en obra	6	Likert 1-5
Percepción de eficiencia	Valoración de desviaciones de costo y plazo en obras propias	5	Likert 1-5
Gestión de residuos	Prácticas actuales de manejo de RCD en obra	5	Likert 1-5
Disposición hacia Lean	Conocimiento previo y apertura a metodologías de gestión innovadoras	4	Likert 1-5

Nota: Elaboración propia

La confiabilidad del instrumento se evaluará mediante el coeficiente alfa de Cronbach aplicado a los datos obtenidos; se considerará aceptable un valor $\geq 0,70$. El instrumento pasa primero por un docente universitario con especialidad en gestión de proyectos y un supervisor de obra con más de quince años laborando en el cantón, para validar su contenido. Ambos se encargarán de verificar que cada ítem tenga sentido y sea claro. Ambas validaciones se documentaron mediante acta de validación de expertos adjunta en los anexos del presente trabajo.

Entrevistas en profundidad: entre ocho y diez entrevistas semiestructuradas con representantes del sector público del área de infraestructura, fiscalizadores con más trayectoria y al menos tres de la comunidad educativa. El guion toca las barreras reales de implementación, qué factores podrían ayudar según experiencias previas y qué dejaron como lección obras puntuales. Cada entrevista se graba con consentimiento del participante y después se transcribe para analizarla.

Observación estructurada: se harán visitas a las obras seleccionadas. En las que ya están terminadas se inspeccionarán las instalaciones directamente, y en las que cuenten con expedientes fotográficos se revisarán los registros visuales para documentar las condiciones constructivas, las prácticas de almacenamiento y el manejo de materiales que se pueda observar. Todo quedará registrado en una guía de observación con categorías predefinidas que están alineadas con los indicadores de desperdicio Lean.

2.6. Procesamiento, validez y confiabilidad

Triangulación: La solidez de los hallazgos se garantiza mediante triangulación metodológica: cada indicador central del estudio desviación de costos, desviación de plazo, generación de RCD se analiza desde al menos dos fuentes independientes (expediente documental + percepción del técnico responsable), y en los casos en que sea posible, desde tres (expediente + técnico + observación directa).

Análisis cuantitativo: Los datos de los expedientes documentales se procesaron mediante estadísticos descriptivos (media, mediana, desviación estándar y rango) para cada indicador de eficiencia, tanto a nivel individual de obra como para el conjunto total de la muestra. Con los datos del cuestionario se calcularon frecuencias, porcentajes y medias por dimensión. Para estimar la precisión de las proporciones obtenidas en la encuesta ($n=30$), se calcularon intervalos de confianza al 95% utilizando la fórmula para proporciones muestrales: $IC = p \pm z\sqrt{p(1-p)/n}$, donde $z=1.96$ para el nivel de confianza adoptado. A modo ilustrativo, la proporción del 50% que reporta desperdicios $\geq 11\%$ tiene un intervalo de confianza de ± 17.9 puntos porcentuales (IC 95%: 32.1%-67.9%), lo que refleja la limitación del tamaño muestral y la naturaleza exploratoria del estudio. Adicionalmente, se calculó el coeficiente alfa de Cronbach para evaluar la consistencia interna de la escala de valoración de propuestas de mejora, obteniéndose un valor de $\alpha=0.83$, que supera el umbral de 0.70 establecido como aceptable. No se incorporaron pruebas de correlación inferencial dado que el tamaño muestral ($n=30$) no alcanza la potencia estadística necesaria para inferencias generalizables; el análisis se centra en describir tendencias y patrones que orienten el diseño del modelo propuesto..

Análisis cualitativo: Las entrevistas y las notas de observación se van a procesar mediante análisis de contenido temático. Se construirá un sistema de codificación que combine categorías deductivas, que vienen del marco teórico Lean, con categorías inductivas que vayan surgiendo de los propios testimonios. La codificación se hará en dos

ciclos: primero un etiquetado inicial y luego una agrupación en temas más amplios, cuidando siempre que se pueda rastrear la conexión entre cada cita original y la categoría que se le asignó.

2.7. Consideraciones éticas

La participación de todos los sujetos humanos del estudio es estrictamente voluntaria. Antes de la aplicación de cualquier instrumento, cada participante recibirá y firmará un formulario de consentimiento informado que explica: los objetivos del estudio, el uso académico exclusivo de la información, el derecho a retirarse en cualquier momento sin consecuencia, y las medidas de protección de datos aplicadas.

Los datos personales de los participantes van a estar separados de sus respuestas mediante una codificación numérica, así que ningún informe ni publicación que salga de este estudio va a identificar individualmente a los encuestados o entrevistados. En cada etapa, proteger la confidencialidad de los participantes es fundamental. Para el análisis, los registros documentales de los trabajos se hacen referencia al código del contrato público correspondiente, y no se citan documentos que puedan poner en peligro procesos administrativos no judicializados. Los datos recolectados se mantienen en un repositorio de acceso limitado durante la duración de la investigación y se eliminan permanentemente después de que se defienda el trabajo. Nada queda circulando después de que el proceso termina.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo presenta y discute los hallazgos obtenidos tras la aplicación de la metodología descrita, organizados según la secuencia de los objetivos específicos. Se incluye la propuesta del modelo BIM-Lean adaptado y se contrastan los resultados con la literatura revisada.

Se aplicaron cuestionarios estructurados a 30 técnicos responsables del mantenimiento de escuelas rurales en Salitre y fuera del cantón. El instrumento completo (19 preguntas en escala Likert y formato cerrado) se encuentra disponible en el Anexo 1 del presente informe.

Los resultados se presentan en el orden siguiente: (1) perfil socioprofesional de los encuestados; (2) diagnóstico de problemas de eficiencia en obra; (3) conocimiento y barreras de Lean Construction; y (4) valoración de propuestas de mejora. Cada sección incluye tablas de frecuencia, estadísticas descriptivas y gráficos que facilitan la interpretación de los datos.

3.1. Perfil Socioprofesional de los Encuestados

Con el fin de contextualizar los resultados y garantizar la pertinencia del diagnóstico, se caracterizó el perfil de los 30 profesionales que participaron en la encuesta. Se analizaron variables como el cargo desempeñado en los proyectos y los años de experiencia en construcción rural, tal como se presenta en las tablas y figuras siguientes.

Tabla 2.

Distribución de encuestados según cargo o rol en los proyectos

Cargo / Rol	Frecuencia	Porcentaje
Ingeniero residente	17	56.7%
Gestor de proyectos	4	13.3%
Técnico de campo	3	10.0%
Supervisor de obra	2	6.7%
Otros (Contratista, Fiscalizador, RSSA)	4	13.3%
TOTAL	30	100%

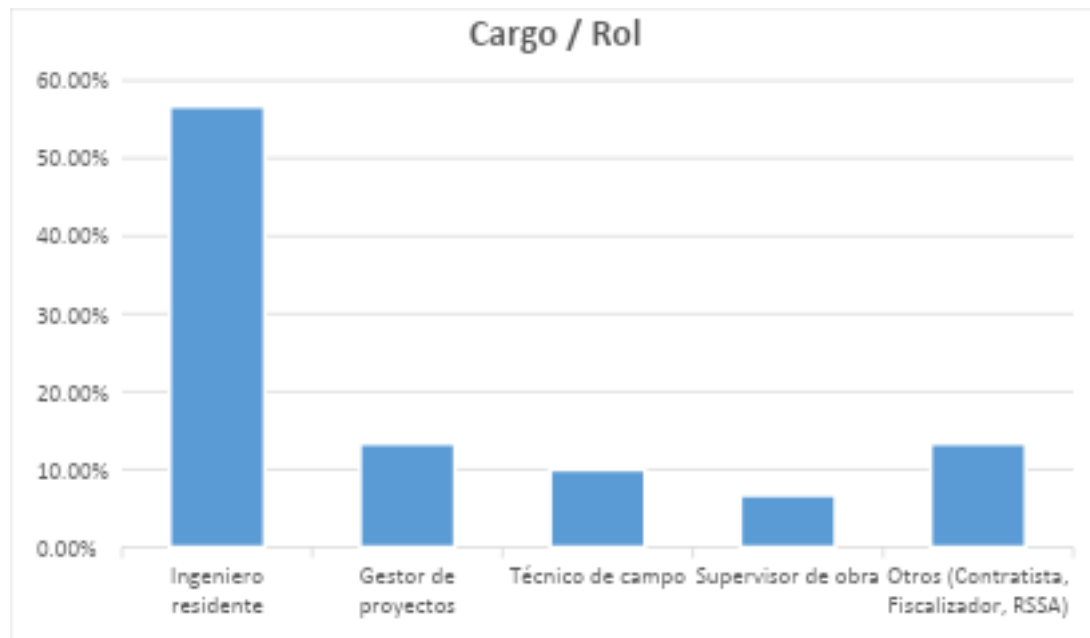
Nota: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 2, la mayoría de los encuestados son ingenieros residentes, representando el 56.7% del total. Le siguen los gestores de proyectos con el 13.3% y los técnicos de campo con el 10.0%. Esta distribución es metodológicamente relevante: la predominancia de ingenieros residentes fortalece la validez interna de los resultados, dado que este perfil profesional está directamente involucrado en la ejecución diaria de la obra, siendo el actor con mayor capacidad para observar, cuantificar y reportar con precisión los problemas de eficiencia, desperdicio y coordinación que este estudio busca diagnosticar. Sus respuestas no vienen de alguien que mira la obra desde una oficina, sino de gente que ha estado directamente en campo, lo cual le da al diagnóstico una credibilidad empírica mucho más sólida y cercana a la realidad.

La Figura 1 muestra cómo se reparten los participantes según su cargo. Se ve con bastante claridad que los ingenieros residentes son el grupo que más pesa en la muestra, lo cual tiene todo el sentido dado el tipo de obras que se analizaron, donde ese perfil es el que carga con la responsabilidad de planificar y controlar el trabajo día a día en campo.

Figura 1

Distribución porcentual de encuestados según cargo o rol en los proyectos



Nota: Elaboración propia

Tabla 3.

Distribución de encuestados según años de experiencia en construcción rural

Años de Experiencia	Frecuencia	Porcentaje
Menos de 2 años	7	23.3%
2-5 años	13	43.3%
5-10 años	5	16.7%
Más de 10 años	3	10.0%
Otros / No especificado	2	6.7%
TOTAL	30	100%

Nota: Elaboración propia

Con relación a la experiencia profesional (Tabla 3), el 43.3% de los encuestados tiene entre 2 y 5 años de experiencia en construcción rural, seguido del 23.3% con menos de 2 años. Solo el 10% tiene más de 10 años trabajando en este tipo de proyectos, lo que revela una fuerza laboral bastante joven en términos de experiencia sectorial, algo que tiene implicaciones directas sobre lo que esta investigación busca lograr.

Desde el punto de vista de adoptar nuevas metodologías, esa poca experiencia promedio puede jugar para los dos lados. Por un lado, puede significar mayor apertura al cambio y menos resistencia a incorporar prácticas como Lean Construction, precisamente porque no hay hábitos de trabajo tan arraigados que superar. Pero por otro lado, la falta de experiencia acumulada puede dificultar entender e implementar herramientas de gestión que necesitan cierta madurez para leer bien el proceso constructivo. Esa dualidad deja claro que cualquier estrategia de implementación tiene que combinar formación técnica accesible con acompañamiento directo en campo, adaptada al perfil real de la gente que trabaja en el cantón Salitre.

La Figura 2 muestra la distribución por rangos de experiencia. Se ve claramente que la mayoría de los profesionales se concentra en los rangos de menor experiencia, y eso, sumado a la alta rotación que es típica en la construcción rural, es un factor que puede agravar los problemas de ineficiencia que se identificaron en este estudio y que hay que tener muy en cuenta al momento de diseñar cualquier propuesta de mejora.

Distribución de encuestados según años de experiencia en construcción rural



Nota: Elaboración propia

Discusión:

Estos resultados confirman la Hipótesis Específica 1, evidenciando ineficiencias significativas en los métodos tradicionales. El nivel de desconocimiento tecnológico coincide con lo reportado por Peña (2023) para entornos rurales ecuatorianos. La magnitud de las desviaciones supera incluso lo documentado por Ershadi et al. (2021) en contextos similares, lo que refuerza la urgencia de intervención.

3.2. Diagnóstico de ineficiencias en obra

Esta sección examina los principales problemas de eficiencia reportados por los encuestados en tres dimensiones clave: desperdicio de materiales, desviación entre costos presupuestados y reales, y extensión del tiempo de obra respecto al cronograma inicial. Adicionalmente, se analizan las valoraciones en escala Likert relacionadas con la frecuencia de retrasos, el nivel de desperdicio y la calidad de la coordinación entre oficios. El registro fotográfico de las condiciones constructivas observadas durante el diagnóstico de campo se presenta en el Anexo 2.

3.2.1. Desperdicio de Materiales en Obra

Tabla 4

Porcentaje de desperdicio de materiales en obras escolares rurales

Rango de Desperdicio de Materiales	Frecuencia	Porcentaje
Menos del 5%	10	33.3%
5-10%	5	16.7%
11-15%	10	33.3%
16-20%	4	13.3%
Más del 20%	1	3.3%
TOTAL	30	100%

Nota: Elaboración propia

Los resultados de la Tabla 4 revelan que el 33.3% de los profesionales estima un desperdicio inferior al 5% de materiales, mientras que otro 33.3% reporta niveles de entre el 11% y el 15%. El 16.7% ubica el desperdicio en el rango del 5 al 10%, y el 13.3% restante identifica pérdidas de entre el 16% y el 20%. Solo un encuestado, que representa el 3.3%, reportó desperdicios superiores al 20%, lo que igual es una señal de que hay casos donde la situación se sale bastante de control.

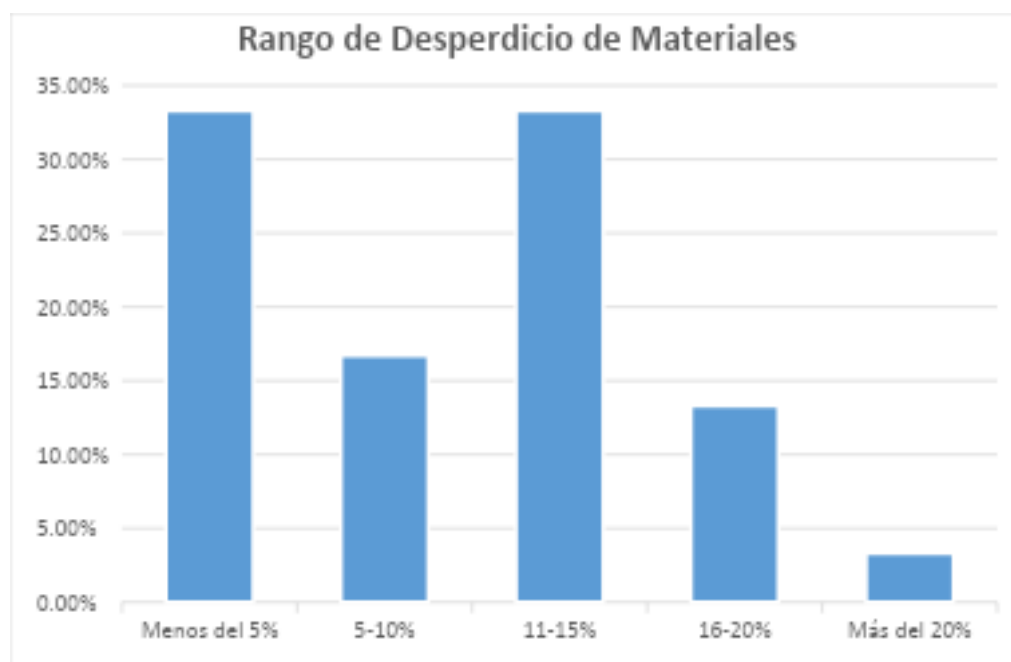
Para entender qué tan graves son esos números hay que ponerlos en contexto. Estudios sobre desperdicio en construcción convencional, como los realizados por Skoyles (1976) y posteriormente sistematizados por Pinto y Agopyan (1994) en el contexto latinoamericano, estiman que los rangos normales de desperdicio oscilan entre el 8% y el 12% del total de materiales, dependiendo del tipo de insumo y del sistema constructivo empleado. O sea, varios de los encuestados están reportando niveles que ya superan lo que se considera normal, y eso en obras con presupuesto público ajustado es un problema que no se puede ignorar. O sea, lo que reportan los encuestados no está muy lejos de lo que se considera normal en obras convencionales, pero eso no significa que sea aceptable, especialmente cuando se habla de presupuesto público en contextos con recursos limitados. Autores como Formoso et al. (2002) encontraron que en obras de menor escala con escasa supervisión técnica, los desperdicios pueden alcanzar entre el 15% y el 20%. En ese sentido, el rango de 11-15% reportado por el 33.3% de los encuestados del cantón Salitre se sitúa en el límite superior de lo considerado normal para

obras convencionales, mientras que los encuestados que reportan valores de 16-20% y más del 20% equivalentes al 16.6% de la muestra superan ampliamente los niveles aceptables, lo que indica la existencia de desperdicios evitables mediante mejoras en la planificación y el control de materiales.

Estos números son bastante preocupantes si se piensa en el contexto de obras rurales con presupuesto limitado. Que el 50% de los profesionales reporte niveles de desperdicio iguales o superiores al 11% significa pérdidas económicas concretas que, en un contrato de infraestructura educativa, pueden ser la diferencia entre terminar la obra o abandonarla a mitad de camino. Además, la dispersión en las respuestas deja ver que no existe una forma homogénea de medir el desperdicio entre los distintos contratistas de la zona, lo cual en sí mismo es una debilidad de gestión importante, y precisamente es algo que Lean Construction ataca de frente mediante el control visual y la estandarización de procesos.

Figura3

Distribución del porcentaje de desperdicio de materiales en obra



Nota: Elaboración propia.

3.2.2. Desviación entre Costo Presupuestado y Costo Real

Tabla 5

Desviación promedio entre costo presupuestado y costo real

Desviación Costo Presupuestado vs. Real	Frecuencia	Porcentaje
Menos del 5%	6	20.0%
5-10%	11	36.7%
11-15%	7	23.3%
16-20%	2	6.7%
Más del 20%	1	3.3%
No ha calculado	3	10.0%
TOTAL	30	100%

Nota: Elaboración propia

Con respecto a la desviación de costos (Tabla 5), el 36.7% de los encuestados reporta que el costo real supera al presupuestado en un rango de 5 a 10%, mientras que el 23.3% reporta desviaciones de entre 11 y 15%. El 20.0% afirma mantenerse dentro de una desviación menor al 5%, y el 10.0% declara no haber calculado formalmente esta diferencia. Solo el 10.0% restante reporta desviaciones superiores al 15%.

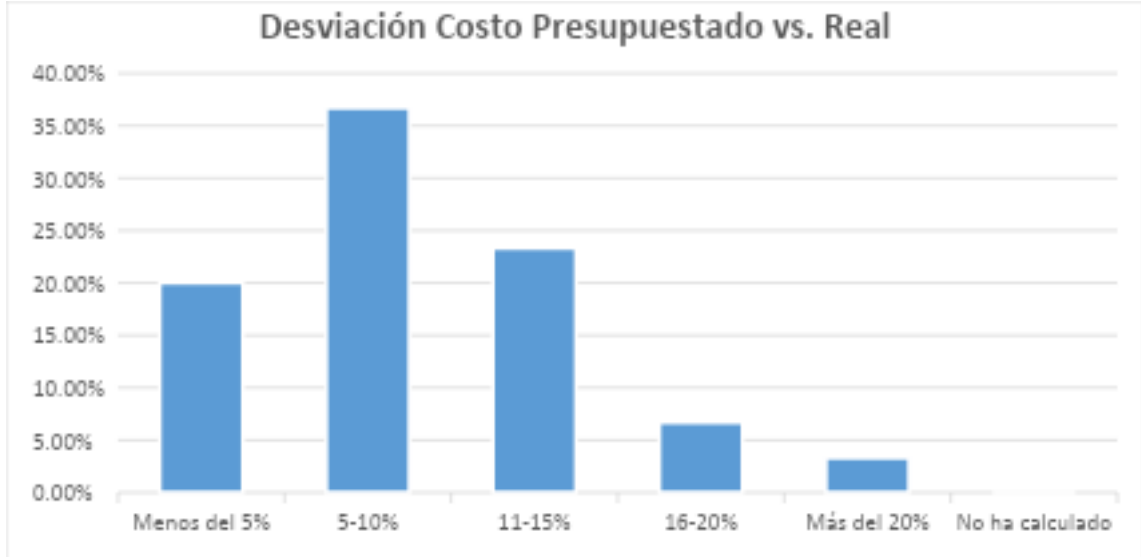
En resumen, el 60% de los profesionales identifica sobrecostos de entre el 5% y el 15% sobre el presupuesto estimado, lo cual ya es una señal de alerta bastante clara en proyectos de contratación pública. Pero el dato que más llama la atención desde una perspectiva de gestión es que el 10% de los encuestados admite no haber calculado formalmente la diferencia entre lo que se presupuestó y lo que realmente costó la obra.

Eso no es un detalle menor. Eso refleja una debilidad estructural seria en cómo se controlan los proyectos, donde el seguimiento financiero simplemente no se hace de forma ordenada ni queda documentado. Y en el marco de Lean Construction eso es un problema de base, porque si no se mide no se puede gestionar, así de simple. Sin registros formales nadie puede explicar por qué se dieron los desvíos, rendir cuentas ante las entidades contratantes se vuelve complicado y se pierde la posibilidad de aprender de los errores para no caer en lo mismo en la siguiente obra.

Todo esto refuerza con mucha fuerza la necesidad de implementar herramientas de gestión que conviertan el control presupuestario en una práctica ordinaria de obra, algo que se haga siempre y no solo cuando alguien lo exige desde afuera.

Figura4

Desviación promedio entre costo presupuestado y costo real



Nota: Elaboración propia

La Figura 4 confirma visualmente la distribución asimétrica de las desviaciones de costo: la barra correspondiente al rango 5-10% es la más alta de la distribución, indicando que ese rango concentra el mayor número de respuestas. Sin embargo, lo más revelador del gráfico es que las barras no decrecían progresivamente hacia la derecha, sino que el rango 11-15% sigue siendo elevado, formando una distribución con cola derecha larga que refleja que una proporción importante de los proyectos registra desviaciones que superan ampliamente el margen aceptable del 5% establecido por la norma de contratación pública ecuatoriana. Este patrón gráfico, complementado con los datos de la Tabla 5, respalda empíricamente la necesidad de implementar herramientas de control presupuestario sistemático como las que propone el modelo MGL-Rural.

3.2.3. Extensión del Tiempo de Obra

Tabla 6.

Extensión del tiempo de obra respecto al cronograma inicial

Extensión del Tiempo de Obra	Frecuencia	Porcentaje
Menos del 10%	10	33.3%
10-20%	11	36.7%
21-30%	6	20.0%

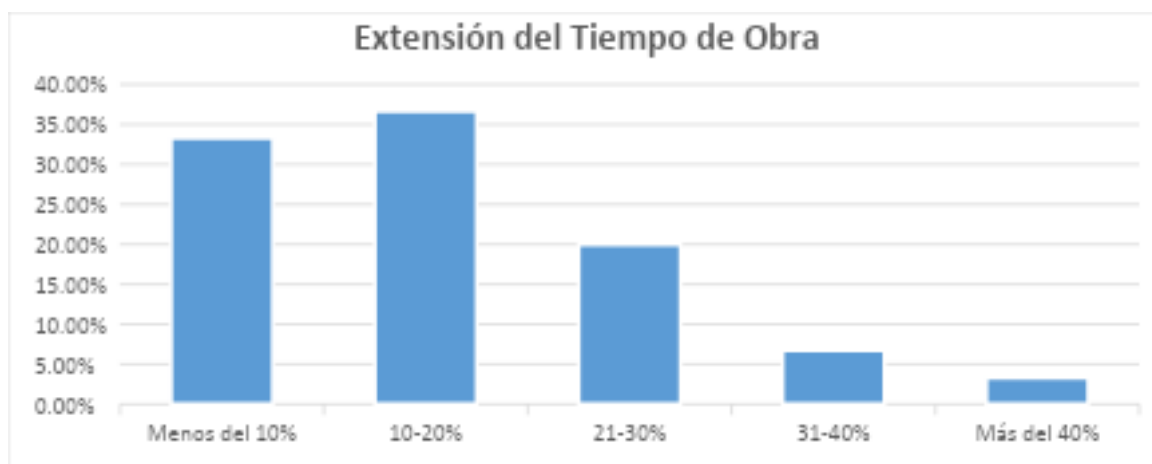
31-40%	2	6.7%
Más del 40%	1	3.3%
TOTAL	30	100%

Nota: Elaboración propia

En cuanto a la extensión de los plazos de obra (Tabla 6), el 36.7% de los encuestados reporta que los proyectos se extienden entre un 10 y un 20% más allá del cronograma inicial, mientras que el 33.3% indica extensiones menores al 10%. El 20.0% reporta ampliaciones de entre el 21% y el 30%, y el restante 10.0% señala extensiones superiores al 30%. Estos resultados evidencian que el 66.7% de los proyectos supera el cronograma inicial en al menos un 10%, lo cual tiene implicaciones directas en los costos indirectos, en la calidad de vida de las comunidades beneficiarias y en la reputación de los contratistas. Según los propios encuestados, en las respuestas abiertas, los factores más recurrentes son la logística de materiales en zonas de difícil acceso, la falta de planificación adecuada y los retrasos en los pagos de obra.

Figura5

Extensión del tiempo de obra respecto al cronograma inicial



Nota: Elaboración propia

La Figura 5 ilustra que la distribución de extensiones de plazo no es uniforme ni está concentrada en los rangos inferiores, como sería deseable en proyectos bien gestionados. Por el contrario, la barra más alta corresponde al rango 10-20% de extensión, seguida por el rango inferior al 10%, lo cual genera una distribución bimodal que evidencia dos grupos claramente diferenciados: proyectos relativamente bien controlados en plazo (menos del 10% de extensión) y proyectos con desviaciones significativas (10-

30% o más). Esta polarización sugiere que el desempeño en plazo no depende del azar ni de factores climato-geográficos homogéneos, sino de diferencias en la capacidad de gestión de los equipos responsables, lo cual es precisamente el tipo de variabilidad que el sistema Last Planner busca reducir mediante la planificación colaborativa y el control semanal de compromisos.

3.2.4. Valoración Likert de Problemas en Obra

Adicionalmente, se solicitó a los encuestados valorar tres aspectos del proceso constructivo mediante una escala Likert de 1 a 5, donde 1 representa la situación más favorable y 5 la más desfavorable o crítica. La Tabla 7 presenta los estadísticos descriptivos de estas valoraciones.

Tabla 7

Estadísticos descriptivos de variables de diagnóstico (escala Likert 1-5)

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. Est.
Frecuencia de retrasos en cronogramas	2.97	3.00	2	1.10
Nivel de desperdicio en obra	2.70	3.00	3	0.92
Coordinación entre diferentes oficios	3.30	3.00	3 y 4	0.88

Nota: Elaboración propia

La frecuencia de retrasos en cronogramas obtuvo una media de 2.97 sobre 5, lo que en términos prácticos indica que los encuestados perciben los retrasos como un fenómeno habitual, aunque no constante: una media cercana a 3 en esta escala equivale a una ocurrencia frecuente, es decir, los retrasos se presentan en la mayoría de los proyectos, pero no de forma absoluta en cada etapa. Dicho de otra forma, el personal de obra ya asumió que cierto nivel de retraso es algo normal y esperado en el proceso, y eso en sí mismo es una señal preocupante, porque cuando las ineficiencias se normalizan dejan de verse como problemas que se pueden resolver y simplemente se aceptan como parte del trabajo.

En cuanto al desperdicio de materiales, la media de 2.70 refleja una percepción de desperdicio moderado pero que se repite con frecuencia. Y la coordinación entre oficios fue lo que peor puntuación sacó del grupo, con un promedio de 3.30, lo que dice que los encuestados la ven como algo apenas aceptable, justo en ese límite incómodo que está

entre deficiente y regular según la escala que se usó. No es una situación crítica, pero tampoco es algo que se pueda dejar así.

La Figura 6 muestra visualmente estas valoraciones comparadas, lo que permite identificar de un vistazo cuál de las tres dimensiones genera más preocupación. El hecho de que las tres variables se agrupen alrededor de la puntuación media, entre 2.70 y 3.30, dice algo importante: el personal sabe que hay problemas, pero no los percibe como una emergencia sino como algo que todavía se puede manejar, y eso es precisamente la ventana que existe para intervenir antes de que se vuelvan más difíciles de corregir. Eso puede leerse como una ventana de oportunidad, porque si las ineficiencias todavía no se han consolidado como práctica estructural, hay margen real para intervenir antes de que sea mucho más difícil cambiarlas.

Figura6

Valoración Likert de problemas de eficiencia en obra (escala 1-5)



Nota: Elaboración propia

3.3. Conocimiento y Barreras de Lean Construction

Esta sección analiza el nivel de familiarización que tienen los profesionales encuestados con la filosofía Lean Construction, así como las principales barreras que, en su criterio, dificultarían su implementación en proyectos escolares rurales en el cantón Salitre.

Tabla 8

Nivel de conocimiento de la filosofía Lean Construction

Nivel de Conocimiento de Lean Construction	Frecuencia	Porcentaje
Sí, la he utilizado	6	20.0%
Sí, pero no la he aplicado	10	33.3%
He escuchado de ella	6	20.0%
No la conozco	8	26.7%
TOTAL	30	100%

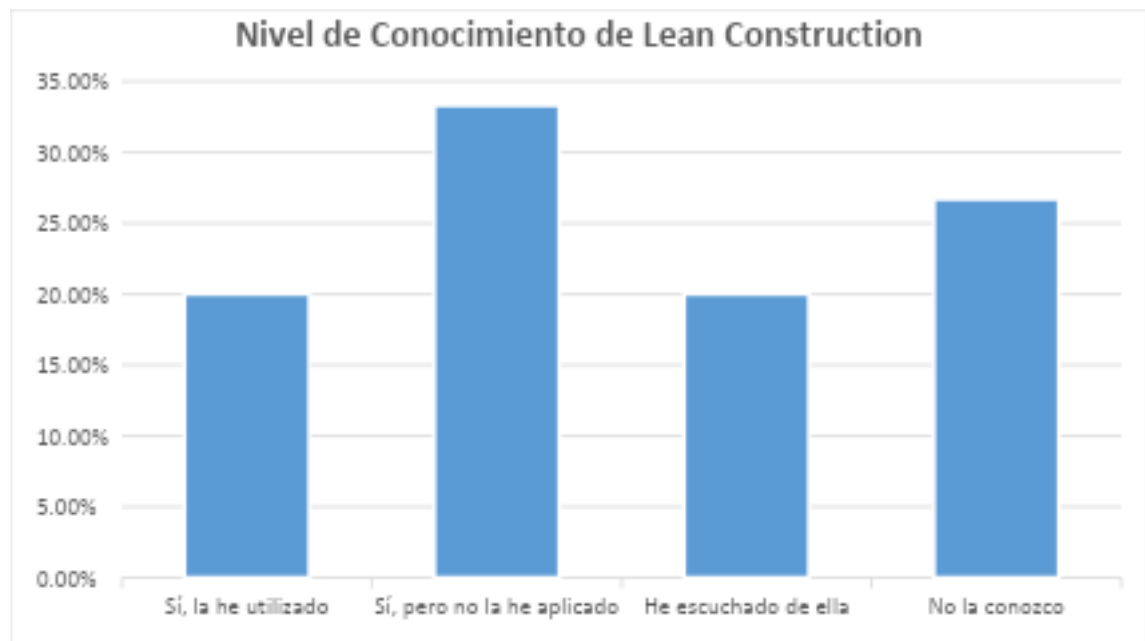
Nota: Elaboración propia

Los datos de la Tabla 8 revelan una brecha significativa entre el conocimiento teórico y la aplicación práctica de Lean Construction en el sector. Únicamente el 20.0% de los encuestados ha utilizado efectivamente esta filosofía en algún proyecto, lo que evidencia que, a pesar de existir cierto nivel de conciencia sobre la metodología, su traslado a la práctica constructiva es extremadamente limitado. El 33.3% conoce Lean pero nunca la ha aplicado, y el 20% solo ha escuchado menciones al respecto sin haber profundizado en qué es realmente. Y lo más preocupante: el 26.7% de los profesionales admite no conocer esta metodología para nada.

Esa brecha entre teoría y práctica es uno de los hallazgos más importantes del diagnóstico. Si se suman quienes conocen Lean pero no la aplican con quienes directamente la desconocen, se llega a que el 60% del personal encuestado no tiene ningún acercamiento operativo a esta filosofía. En el contexto de Salitre, donde los problemas de ineficiencia son recurrentes y se pueden medir, esto no se puede explicar solo por falta de voluntad. Como se verá más adelante, las barreras que se identificaron son principalmente de orden formativo e institucional, lo que significa que la brecha se puede cerrar con una intervención sistemática de capacitación y acompañamiento técnico. Este hallazgo justifica de forma directa la propuesta de implementación que se desarrolla en el siguiente capítulo.

Figura 7

Nivel de conocimiento de Lean Construction en los encuestados



Nota: Elaboración propia

Tabla 9

Barreras percibidas para la implementación de Lean Construction en Salitre

Barrera Identificada	Menciones	% Encuestados
Falta de capacitación	18	60.0%
Limitaciones tecnológicas	17	56.7%
Resistencia al cambio	10	33.3%
Costo de implementación	7	23.3%
Falta de apoyo institucional	5	16.7%

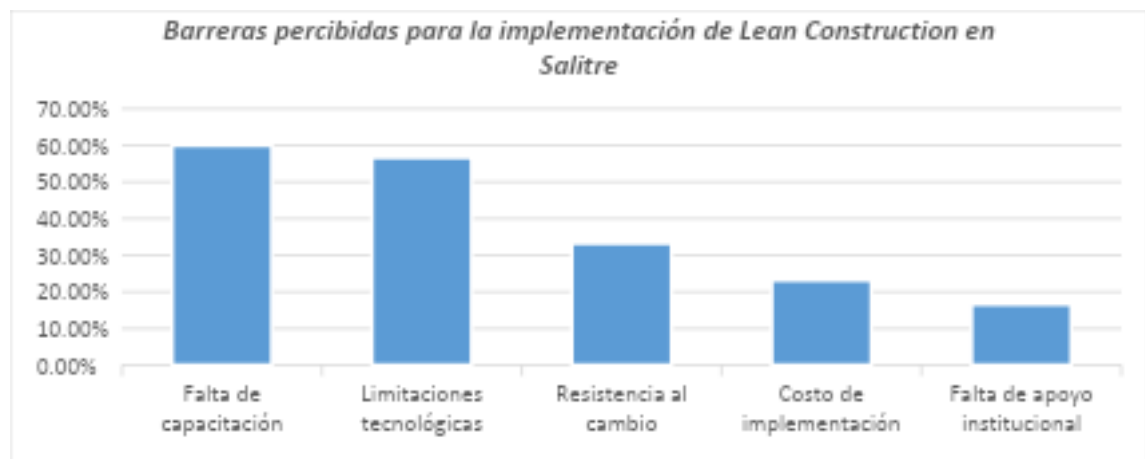
Nota: Elaboración propia Al consultar sobre las barreras para implementar Lean Construction (Tabla 8), la falta de capacitación fue la más mencionada, con 18 referencias equivalentes al 60.0% de los encuestados. Le siguen las limitaciones tecnológicas con el 56.7% de menciones. La resistencia al cambio fue identificada por el 33.3% de los profesionales, el costo de implementación por el 23.3%, y la falta de apoyo institucional por el 16.7%.

Lo interesante es que estas barreras coinciden bastante con lo que la literatura especializada ha encontrado en otros contextos donde se ha intentado adoptar

metodologías ágiles con recursos limitados. Que la falta de capacitación y las limitaciones tecnológicas aparezcan tan seguido en las respuestas dice bastante sobre la naturaleza real del problema. No es que la gente se niegue a cambiar la forma en que trabaja, sino que enfrenta obstáculos concretos y prácticos que le impiden hacerlo. Y eso, aunque suene a problema, en realidad es una buena noticia, porque quiere decir que con una estrategia de implementación bien pensada y adaptada al contexto local, estas barreras se pueden superar sin generar demasiada resistencia en el camino.

Figura8

Barreras percibidas para la implementación de Lean Construction



Nota: Elaboración propia

3.4. Valoración de Propuestas de Mejora

En contraste con las barreras identificadas, los encuestados valoraron positivamente un conjunto de herramientas y prácticas vinculadas a la filosofía Lean Construction. Se les solicitó expresar su nivel de acuerdo con cuatro afirmaciones mediante una escala Likert de 1 a 5, donde 1 equivale a totalmente en desacuerdo y 5 a totalmente de acuerdo.

Tabla 10.

Estadísticos descriptivos de la valoración de propuestas de mejora (escala 1-5)

Propuesta / Herramienta	Media	Mediana	Moda	Desv. Est.
Modelo visual simplificado (planos 3D)	4.37	5.00	5	1.19
Reuniones de planificación semanal	4.30	5.00	5	1.18

Sistema de gestión de residuos	4.27	5.00	5	1.08
Disposición a aprender nuevas metodologías	4.33	5.00	5	1.40

Nota: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 9, todas las propuestas recibieron valoraciones promedio superiores a 4.27 sobre 5, lo que refleja una disposición altamente favorable del personal hacia estas herramientas. El modelo visual simplificado con planos 3D fue lo que mejor puntuación obtuvo, con una media de 4.37, seguido de la disposición a aprender nuevas metodologías con 4.33, las reuniones de planificación semanal con 4.30 y el sistema de gestión de residuos con 4.27. En todos los casos la moda fue 5, lo que significa que la respuesta más frecuente fue el máximo acuerdo posible, algo que habla bien de la receptividad del grupo.

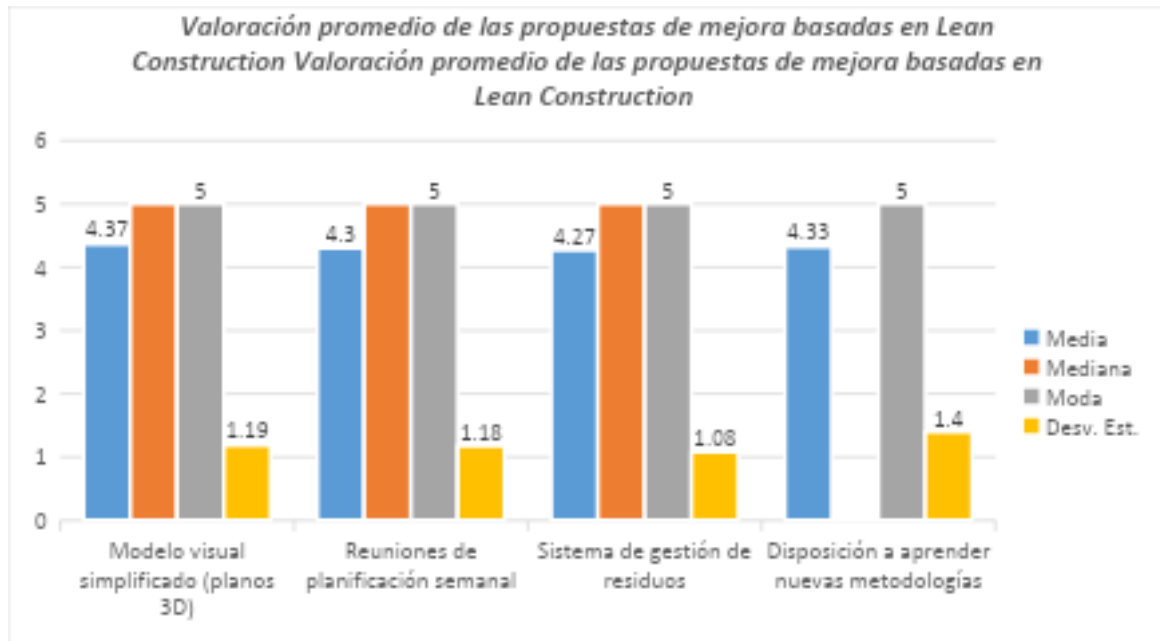
Donde sí se nota más variación es en la disposición a aprender nuevas metodologías, que tuvo la desviación estándar más alta con 1.40. Eso indica que las opiniones estuvieron más dispersas en ese punto, lo cual probablemente tiene que ver con el nivel de experiencia previa de cada profesional y con qué tan seguros se sienten de poder aprender y aplicar cosas nuevas.

La Figura 9 presenta una comparación visual de las cuatro propuestas evaluadas, destacando la consistencia en las altas valoraciones obtenidas. Lo que más llama la atención del gráfico es la homogeneidad de los resultados: las cuatro propuestas se concentran en un rango muy estrecho de 4.27 a 4.37, sin que ninguna quede significativamente por debajo del promedio del grupo. Esto indica que no se trata de una preferencia aislada por una herramienta específica, sino de una receptividad generalizada hacia el conjunto de estrategias que integran el modelo Lean. Desde el punto de vista estadístico, todas las medias superan el valor de 4.0 que representaría “de acuerdo” en la escala Likert utilizada, lo que permite afirmar con base empírica que el modelo cuenta con aceptación alta entre los técnicos de la zona. La mayor desviación estándar en la disposición a aprender nuevas metodologías (DE=1.40) merece atención especial, pues revela que aunque la media es alta, existe una dispersión considerable en las respuestas, probablemente asociada a diferencias en el nivel de experiencia previa y en la seguridad que cada profesional siente respecto a incorporar nuevas prácticas. Este hallazgo tiene implicaciones directas para el diseño de la estrategia de implementación: no basta con

presentar el modelo, es necesario acompañar su adopción con un proceso de formación gradual y personalizado que reduzca esa variabilidad de respuesta.

Figura 9.

Valoración promedio de las propuestas de mejora basadas en Lean Construction (escala 1-5)



Nota: Elaboración propia

Que el modelo visual 3D haya sacado el puntaje más alto es un dato importante para este estudio, porque muestra que los profesionales no lo ven como algo sofisticado o fuera de su alcance, sino como una herramienta concreta que puede ayudarles a coordinarse mejor en campo, incluso en lugares donde la tecnología no siempre está disponible. Es una solución que conecta con problemas reales que enfrentan todos los días.

Las reuniones de planificación semanal, por su parte, tienen algo muy a su favor: no necesitan inversión ni infraestructura especial para funcionar. Eso las hace muy atractivas en un contexto como el de Salitre, donde los recursos son limitados y cualquier herramienta que sea simple y barata tiene muchas más chances de adoptarse y mantenerse en el tiempo. Además van de la mano con el principio del Last Planner System de Lean Construction, lo que las convierte en un punto de entrada natural para comenzar a implementar la metodología sin generar resistencia.

3.5. Análisis Cualitativo de Respuestas Abiertas

Complementando el análisis cuantitativo, el instrumento incluyó dos preguntas de respuesta abierta orientadas a recoger la perspectiva cualitativa de los profesionales: la principal causa de los retrasos en obras escolares rurales y las sugerencias para mejorar la eficiencia en Salitre. De las 30 encuestas, 22 registraron respuestas válidas en ambas preguntas. A continuación, se presenta un análisis temático de las categorías emergentes.

3.5.1. Causas Principales de los Retrasos en Obra

Del análisis de las respuestas abiertas se identificaron cuatro categorías temáticas de causas de retraso, presentadas a continuación en orden de frecuencia de mención:

Logística y acceso geográfico (36% de menciones): La dificultad para transportar materiales a zonas rurales de difícil acceso fue la causa más frecuentemente mencionada. Los encuestados describieron situaciones donde solo es posible llegar mediante lancha o mula, lo que encarece el transporte y genera retrasos no previstos en el presupuesto original.

Falta de coordinación y planificación (27% de menciones): La descoordinación entre contratistas, fiscalizadores y entidades contratantes apareció como una causa que se repite con frecuencia, y no solo eso, también se mencionó la falta de detalle en los planos y la mala comunicación entre los distintos actores del proyecto, lo que termina generando confusión y errores que se pagan caro en tiempo y dinero.

Retraso en pagos y problemas financieros (23% de menciones): el incumplimiento en los cronogramas de pago por parte de las entidades contratantes fue señalado como uno de los factores que más frena el avance de las obras, y encima genera desmotivación en el personal, que muchas veces sigue trabajando sin tener claro cuándo va a recibir su pago. Es un problema que trasciende la gestión de obra, impactando decisivamente sobre el ambiente de trabajo.

Factores climáticos y estacionales (14% de menciones) la época de lluvias y las mal estado de los caminos de tercer orden, se menciona como condiciones irremediables del cantón Salitre que deben estar contempladas desde un inicio en la planificación, pero como ya se sabe con frecuencia no se contempla y es solo un problema en la ejecución.

3.5.2. Sugerencias de Mejora para la Eficiencia en Salitre

Las sugerencias planteadas por los encuestados convergieron en cinco líneas de acción principales:

Capacitación del personal: Varios encuestados fueron claros en señalar que el personal obrero necesita capacitación antes de que arranque la obra, no durante ni después. La idea es que conozcan la metodología de trabajo desde el inicio, y que esa formación no sea un evento único sino algo continuo que acompañe todo el proceso.

Planificación técnica y no política: varios encuestados tocaron un tema que es bastante conocido en la obra pública pero que pocas veces se dice abiertamente: las decisiones sobre los proyectos muchas veces terminan respondiendo a intereses políticos y no a criterios técnicos. La recomendación fue clara, que la selección de contratistas y materiales se haga con base en lo que técnicamente conviene, porque de eso depende en buena medida que las obras lleguen a buen puerto.

Implementación de tecnología y métodos constructivos alternativos: algunos encuestados sugirieron explorar el uso de estructuras metálicas prefabricadas o paneles termo-acústicos como una alternativa real al ladrillo artesanal, sobre todo en zonas con mucha humedad o riesgo de inundaciones, donde los materiales convencionales dan más problemas de los que resuelven.

Mejora en la coordinación y comunicación entre actores: se recomendó implementar sistemas de planificación digital centralizada y establecer mecanismos formales de coordinación entre la entidad contratante, la fiscalización y el contratista. Hoy en día esa comunicación es informal e inconsistente, y eso genera conflictos que se podrían evitar con un poco más de estructura.

Regularización de pagos: se propuso establecer un cronograma de pagos riguroso que garantice el flujo económico necesario para mantener el ritmo de obra sin interrupciones, porque los retrasos en los pagos son uno de los factores que más daño hacen al avance y al ambiente de trabajo.

3.6. Síntesis del Diagnóstico

Los resultados presentados en este capítulo permiten construir un diagnóstico integral sobre la situación actual de la eficiencia constructiva en proyectos de escuelas rurales en el cantón Salitre. Se identificaron ineficiencias concretas y medibles en las tres

dimensiones analizadas: el 50% de los encuestados reporta desperdicios de materiales iguales o superiores al 11%; el 60% reporta sobrecostos de entre el 5% y el 15%; y el 66.7% señala extensiones de plazo de al menos el 10% sobre el cronograma inicial.

Al mismo tiempo, el diagnóstico deja ver una brecha importante entre conocer Lean Construction y realmente aplicarla: solo el 20% de los profesionales ha usado esta metodología, mientras que el 26.7% la desconoce por completo. Pero lo importante aquí es que las principales barreras que se identificaron, la falta de capacitación y las limitaciones tecnológicas, son obstáculos que se pueden superar con intervenciones formativas y de gestión bien diseñadas.

Lo más alentador de todo el diagnóstico fue ver que el personal tiene una receptividad muy alta hacia las herramientas propuestas. Todas las propuestas evaluadas superaron el promedio de 4.27 sobre 5, y el 80% de los encuestados mostró una disposición alta o muy alta para incorporar nuevas metodologías de gestión en su trabajo. Watfa y Sawalha (2021) identificaron, en un estudio en economías del Golfo Pérsico con barreras similares a las de Salitre, que la receptividad del personal técnico es uno de los factores de éxito más críticos para la implementación de Lean, por encima incluso de la disponibilidad de tecnología o el apoyo institucional. Ibrahim et al. (2025), mediante el índice de importancia relativa difusa, confirman que en países en desarrollo la disposición del personal técnico hacia Lean supera sistemáticamente las barreras tecnológicas cuando existen mecanismos de formación accesibles. Rojas y Garzón (2022), en proyectos de vivienda de interés social en Colombia con perfil socioeconómico comparable al de Salitre, documentan que equipos con baja formación previa en Lean lograron mejoras del 18% en productividad tras solo cuatro semanas de implementación del LPS. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en el presente diagnóstico y refuerzan que los obstáculos para adoptar Lean en Salitre no tienen que ver con la actitud del personal sino con la falta de formación y recursos prácticos, algo mucho más fácil de resolver que cambiar la mentalidad de un equipo entero.

Estos resultados son la base empírica sobre la que se construye la propuesta de mejora del siguiente capítulo, que busca optimizar la eficiencia en la construcción de escuelas rurales adaptando los principios y herramientas Lean al contexto específico del cantón Salitre.

3.7 PRESUPUESTO DE UNA OBRA (EEB LEONIDAS PLAZA)

PRESUPUESTO EEB LEONIDAS PLAZA						
BASE IMPONIBLE						\$ 131.239,11
IVA 12%						\$ 15.748,69
MONTO TOTAL						\$ 146.987,80
Nr o.	CÓDIGO	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
B1	AULA TIPO URBANA 1				SUBTOTAL A	\$32.012,95
		PRELIMINARES				
1	0119	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	M2	122,55	\$1,74	\$213,24
2	0181	REPLANTEO MANUAL PARA EDIFICACIONES	M2	122,55	\$1,45	\$177,70
		MOVIMIENTO DE TIERRAS				
3	0093	EXCAVACION MANUAL EN CIMIENTOS Y PLINTOS	M3	22,28	\$13,33	\$296,99
		CIMENTACIÓN				
4	0095	HORMIGON CICLÓPEO 60% H.S. Y 40% PIEDRA F' C=210 KG/CM2	M3	5,04	\$118,08	\$595,12
5	0231	RELLENO HIDROCOMPACTADO CON MATERIAL DE MEJORAMIENTO	M3	1,29	\$13,31	\$17,17
6	0107	HORMIGON SIMPLE REPLANTILLO, F' C=180 KG/CM2, EQUIPO CONCRETERA 1 SACO	M3	0,64	\$145,98	\$93,43
7	0106	HORMIGON SIMPLE PLINTOS, F' C=210 KG/CM2, INCLUYE ENCOFRADO	M3	3,21	\$196,45	\$630,60

8	0100	HORMIGON SIMPLE EN CADENAS F'C=210 KG/CM2 INCLUYE ENCOFRADO	M3	2,59	\$205,16	\$531,36
9	0180	RELLENO COMPACTADO CON SUELO NATURAL	M3	11,45	\$11,62	\$133,05
		ESTRUCTURA				
10	0004	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM 8-12 MM CON ALAMBRE GALV N18	KG	1.603,56	\$1,94	\$3.110,91
11	0003	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM 14-32 MM CON ALAMBRE GALV N18	KG	674,85	\$2,06	\$1.390,19
12	0101	HORMIGON SIMPLE EN COLUMNAS F'C=210 KG/CM2 INCLUYE ENCOFRADO	M3	5,13	\$210,11	\$1.077,86
13	0109	HORMIGON SIMPLE VIGAS, F'C=210 KG/CM2, INC. ENCOFRADO	M3	3,92	\$235,19	\$921,94
14	0374	ESTRUCTURA METALICA ASTM A 36 (PROVISION Y MONTAJE)	KG	1.692,67	\$3,48	\$5.890,49
15	0700	CUBIERTA DE POLICARBONATO TRANSLÚCIDO e=8mm, CON PROTECCIÓN UV	U	2,00	\$72,20	\$144,40
16	0494	CUBIERTA INCLINADA DE PANELES SANDWICH AISLANTES, DE ACERO	M2	82,00	\$39,62	\$3.248,84
17	0396	CONTRAPISO H.S. F'C=210KG/CM2, E=10 CM, INCLUYE MALLA ELECTROSOLDAD A R-283 5.5MM 10X10	M2	122,55	\$22,62	\$2.772,08

		PISOS				
18	0262	ALISADO DE PISO DE HORMIGON, CON JUNTA FRIA (1/3 DE ESPESOR), CON ENDURECEDOR DE CUARZO PARA PISO	M2	122,55	\$4,60	\$563,73
19	0496	ADITIVO IMPERMEABILIZANTE PARA HORMIGONES Y MORTEROS	KG	2,00	\$3,70	\$7,40
20	0501	BARREDERA DE CAUCHO H=8CM	M	33,83	\$4,32	\$146,15
		MAMPOSTERÍA Y ALBAÑILERÍA				
21	0127	MAMPOSTERIA DE BLOQUE PRENSADO ALIVIANADO 40X20X15CM MORTERO 1:6	M2	56,00	\$17,76	\$994,56
22	0126	MAMPOSTERIA DE BLOQUE PRENSADO ALIVIANADO 40X20X10CM MORTERO 1:6	M2	18,00	\$15,08	\$271,44
23	0086	ENLUCIDO VERTICAL INTERIOR, PALETEADO FINO	M2	78,00	\$6,96	\$542,88
24	0087	ENLUCIDO VERTICAL LISO EXTERIOR CON IMPERMEABILIZANTE	M2	80,00	\$10,21	\$816,80
25	0084	ENLUCIDO DE FILOS Y FRANJAS	M	35,53	\$3,92	\$139,28
26	0079	EMPASTE INTERIOR	M2	78,00	\$3,39	\$264,42
27	0078	EMPASTE EXTERIOR	M2	92,00	\$6,18	\$568,56
28	0144	PINTURA DE CAUCHO INTERIOR, LATEX VINILO ACRILICO	M2	80,00	\$2,85	\$228,00
29	0143	PINTURA DE CAUCHO EXTERIOR, LATEX VINILO ACRILICO	M2	92,00	\$3,38	\$310,96

30	0703	FRISO DE FIBROCEMENTO 8mm UNA CARA, INC. ESTRUCTURA	M2	12,00	\$38,12	\$457,44
		CARPINTERÍA METÁLICA				
31	0154	PUERTA DE TOOL H=210MM, ESPESOR 0,9MM	M2	2,10	\$81,73	\$171,63
32	0370	CERRADURA DE SEGURIDAD DE 70MM CON PLACA	U	1,00	\$41,87	\$41,87
33	0698	VENTANA DE ALUMINIO Y VIDRIO 6mm CORREDIZA	M2	34,25	\$75,79	\$2.595,81
		INSTALACIONES HIDROSANITARIAS				
34	0024	BAJANTE PVC DE AGUAS LLUVIAS 110MM UNION CODO	M	7,00	\$22,47	\$157,29
35	0039	CANAL RECOLECTOR DE AGUAS LLUVIAS 4" PVC	M	9,00	\$10,82	\$97,38
36	0001	ACCESORIOS CANAL RECOLECTOR DE AGUAS LLUVIAS 4" PVC	U	2,00	\$13,16	\$26,32
37	0490	PROVISION E INSTALACION DE TUBERIA DE ALCANTARILLADO (INCLUYE EXCAVACION, COLOCACION DE TUBERIA DE 4 PULGADAS, RELLENO Y COMPACTADO)	M	3,40	\$22,15	\$75,31
38	0038	CAJA DE REVISION DE LADRILLO MAMBRON	U	2,00	\$92,07	\$184,14

		(0.60X0.60M) CON TAPA DE HORMIGON				
		INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS				\$ -
39	0167	PUNTO DE ILUMINACION 2X12AWG	PTO	12,00	\$44,72	\$536,64
40	0409	LUMINARIA LED 2X18W/120V/6000°K SOBREPUESTA	U	9,00	\$31,03	\$279,27
41	0172	PUNTO INTERRUPTOR DOBLE (APLIQUE)	PTO	1,00	\$31,00	\$31,00
42	0218	PUNTO DE TOMACORRIENTE DOBLE 110 V TUBO CONDUIT EMT 1/2", 1FX12+1NX12+1TX14 AWG	PTO	4,00	\$39,32	\$157,28
43	0193	CENTRO DE CARGA 2 FASES/4ESP/100A	U	1,00	\$50,38	\$50,38
44	0035	BREAKER SOBREPUESTO 1 POLO / 16A	U	2,00	\$15,07	\$30,14
45	0321	BREAKER ENCHUFABLE 1 POLO / 20A	U	2,00	\$12,09	\$24,18
46	0503	PROVISION E INSTALACION DE APLIQUE DE PARED 18W EXTERIOR	U	3,00	\$18,72	\$56,16
47	0507	ANCLAJE LUMINARIA CON CADENA 1 metro	M	9,00	\$12,79	\$115,11
48	0378	JACK RJ-45 CAT 6A BLINDADO	U	1,00	\$14,32	\$14,32
49	0377	FACEPLATE, NO INCLUYE JACK	U	1,00	\$4,20	\$4,20

50	0373	CERTIFICACION DE PUNTOS DE DATOS DE CABLE DE CATEGORIA 6A	U	1,00	\$5,44	\$5,44
51	0361	PUNTO PARA SALIDA HDMI	PTO	1,00	\$107,03	\$107,03
52	0355	PATCH PANEL 24 PUERTOS CAT 6A INCLUYE JACKS	U	1,00	\$379,64	\$379,64
53	0347	PATCH CORD F/UTP CAT. 6A DE 3M	U	1,00	\$23,86	\$23,86
54	0379	PATCH CORD F/UTP CAT 6A DE 1M	U	1,00	\$19,23	\$19,23
55	0386	CABLE FUTP CAT 6A BLINDADO	M	6,00	\$1,87	\$11,22
56	0197	TUBERIA CONDUIT EMT 3/4", INC. ACCESORIOS	M	9,35	\$5,53	\$51,71
57	0214	ALIMENTADOR COBRE (2x8)(F)+(1x8)(N)+(1x10)(T) AWG	M	30,00	\$6,98	\$209,40
B2	AULA TIPO URBANA 2				SUBTOTAL	\$ 31.873,35
					B	
		PRELIMINARES				
58	0119	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	M2	122,55	\$1,74	\$213,24
59	0181	REPLANTEO MANUAL PARA EDIFICACIONES	M2	122,55	\$1,45	\$177,70
		MOVIMIENTO DE TIERRAS				
60	0093	EXCAVACION MANUAL EN CIMIENTOS Y PLINTOS	M3	22,28	\$13,33	\$296,99
		CIMENTACIÓN				
61	0095	HORMIGON CICLÓPEO 60% H.S.Y	M3	5,04	\$118,08	\$595,12

		40% PIEDRA F´C=210 KG/CM2				
62	0231	RELLENO HIDROCOMPACTAD O CON MATERIAL DE MEJORAMIENTO	M3	1,29	\$13,31	\$17,17
63	0107	HORMIGON SIMPLE REPLANTILLO, F´C=180 KG/CM2, EQUIPO CONCRETERA 1 SACO	M3	0,64	\$145,98	\$93,43
64	0106	HORMIGON SIMPLE PLINTOS, F´C=210 KG/CM2, INCLUYE ENCOFRADO	M3	3,21	\$196,45	\$630,60
65	0100	HORMIGON SIMPLE EN CADENAS F´C=210 KG/CM2 INCLUYE ENCOFRADO	M3	2,59	\$205,16	\$531,36
66	0180	RELLENO COMPACTADO CON SUELO NATURAL	M3	11,45	\$11,62	\$133,05
		ESTRUCTURA				
67	0004	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM 8-12 MM CON ALAMBRE GALV N18	KG	1.603,56	\$1,94	\$3.110,91
68	0003	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM 14-32 MM CON ALAMBRE GALV N18	KG	674,85	\$2,06	\$1.390,19
69	0101	HORMIGON SIMPLE EN COLUMNAS F´C=210 KG/CM2 INCLUYE ENCOFRADO	M3	5,13	\$210,11	\$1.077,86

70	0109	HORMIGON SIMPLE VIGAS, F' C=210 KG/CM2, INC. ENCOFRADO	M3	3,92	\$235,19	\$921,94
71	0374	ESTRUCTURA METALICA ASTM A 36 (PROVISION Y MONTAJE)	KG	1.692,67	\$3,48	\$5.890,49
72	0700	CUBIERTA DE POLICARBONATO TRANSLÚCIDO e=8mm, CON PROTECCIÓN UV	U	2,00	\$72,20	\$144,40
73	0494	CUBIERTA INCLINADA DE PANELES SANDWICH AISLANTE, DE ACERO	M2	82,00	\$39,62	\$3.248,84
74	0396	CONTRAPISO H.S. F' C=210KG/CM2, E=10 CM, INCLUYE MALLA ELECTROSOLDADA R-283 5.5MM 10X10	M2	122,55	\$22,62	\$2.772,08
		PISOS				
75	0262	ALISADO DE PISO DE HORMIGON, CON JUNTA FRIA (1/3 DE ESPESOR), CON ENDURECEDOR DE CUARZO PARA PISO	M2	122,55	\$4,60	\$563,73
76	0496	ADITIVO IMPERMEABILIZANTE PARA HORMIGONES Y MORTEROS	KG	2,00	\$3,70	\$7,40
77	0501	BARREDERA DE CAUCHO H=8CM	M	33,83	\$4,32	\$146,15

		MAMPOSTERÍA Y ALBAÑILERÍA				
78	0127	MAMPOSTERIA DE BLOQUE PRENSADO ALIVIANADO 40X20X15CM MORTERO 1:6	M2	56,00	\$17,76	\$994,56
79	0126	MAMPOSTERIA DE BLOQUE PRENSADO ALIVIANADO 40X20X10CM MORTERO 1:6	M2	18,00	\$15,08	\$271,44
80	0086	ENLUCIDO VERTICAL INTERIOR, PALETEADO FINO	M2	78,00	\$6,96	\$542,88
81	0087	ENLUCIDO VERTICAL LISO EXTERIOR CON IMPERMEABILIZANT E	M2	80,00	\$10,21	\$816,80
82	0084	ENLUCIDO DE FILOS Y FRANJAS	M	35,53	\$3,92	\$139,28
83	0079	EMPASTE INTERIOR	M2	78,00	\$3,39	\$264,42
84	0078	EMPASTE EXTERIOR	M2	92,00	\$6,18	\$568,56
85	0144	PINTURA DE CAUCHO INTERIOR, LATEX VINILO ACRILICO	M2	80,00	\$2,85	\$228,00
86	0143	PINTURA DE CAUCHO EXTERIOR, LATEX VINILO ACRILICO	M2	92,00	\$3,38	\$310,96
87	0703	FRISO DE FIBROCEMENTO 8mm UNA CARA, INC. ESTRUCTURA	M2	12,00	\$38,12	\$457,44
		CARPINTERÍA METÁLICA				

88	0154	PUERTA DE TOOL H=210MM, ESPESOR 0,9MM	M2	2,10	\$81,73	\$171,63
89	0370	CERRADURA DE SEGURIDAD DE 70MM CON PLACA	U	1,00	\$41,87	\$41,87
90	0698	VENTANA DE ALUMINIO Y VIDRIO 6mm CORREDIZA	M2	34,25	\$75,79	\$2.595,81
		INSTALACIONES HIDROSANITARIAS				
91	0024	BAJANTE PVC DE AGUAS LLUVIAS 110MM UNION CODO	M	7,00	\$22,47	\$157,29
92	0039	CANAL RECOLECTOR DE AGUAS LLUVIAS 4" PVC	M	9,00	\$10,82	\$97,38
93	0001	ACCESORIOS CANAL RECOLECTOR DE AGUAS LLUVIAS 4" PVC	U	2,00	\$13,16	\$26,32
94	0490	PROVISION E INSTALACION DE TUBERIA DE ALCANTARILLADO (INCLUYE EXCAVACION, COLOCACION DE TUBERIA DE 4 PULGADAS, RELLENO Y COMPACTADO)	M	3,40	\$22,15	\$75,31
95	0038	CAJA DE REVISION DE LADRILLO MAMBRON (0.60X0.60M) CON TAPA DE HORMIGON	U	2,00	\$92,07	\$184,14

		INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS				\$ -
96	0167	PUNTO DE ILUMINACION 2X12AWG	PTO	12,00	\$44,72	\$536,64
97	0409	LUMINARIA LED 2X18W/120V/6000°K SOBREPUESTA	U	9,00	\$31,03	\$279,27
98	0172	PUNTO INTERRUPTOR DOBLE (APLIQUE)	PTO	1,00	\$31,00	\$31,00
99	0218	PUNTO DE TOMACORRIENTE DOBLE 110 V TUBO CONDUIT EMT 1/2", 1FX12+1NX12+1TX14 AWG	PTO	4,00	\$39,32	\$157,28
100	0193	CENTRO DE CARGA 2 FASES/4ESP/100A	U	1,00	\$50,38	\$50,38
101	0035	BREAKER SOBREPUESTO 1 POLO / 16A	U	2,00	\$15,07	\$30,14
102	0321	BREAKER ENCHUFABLE 1 POLO / 20A	U	2,00	\$12,09	\$24,18
103	0503	PROVISION E INSTALACION DE APLIQUE DE PARED 18W EXTERIOR	U	3,00	\$18,72	\$56,16
104	0507	ANCLAJE LUMINARIA CON CADENA 1 metro	M	9,00	\$12,79	\$115,11
105	0378	JACK RJ-45 CAT 6A BLINDADO	U	1,00	\$14,32	\$14,32
106	0377	FACEPLATE, NO INCLUYE JACK	U	1,00	\$4,20	\$4,20
107	0373	CERTIFICACION DE PUNTOS DE DATOS	U	1,00	\$5,44	\$5,44

		DE CABLE DE CATEGORIA 6A				
108	0361	PUNTO PARA SALIDA HDMI	PTO	1,00	\$107,03	\$107,03
109	0355	PATCH PANEL 24 PUERTOS CAT 6A INCLUYE JACKS	U	1,00	\$379,64	\$379,64
110	0347	PATCH CORD F/UTP CAT. 6A DE 3M	U	1,00	\$23,86	\$23,86
111	0379	PATCH CORD F/UTP CAT 6A DE 1M	U	1,00	\$19,23	\$19,23
112	0386	CABLE FUTP CAT 6A BLINDADO	M	6,00	\$1,87	\$11,22
113	0197	TUBERIA CONDUIT EMT 3/4", INC. ACCESORIOS	M	9,35	\$5,53	\$51,71
114	0214	ALIMENTADOR COBRE (2x8)(F)+(1x8)(N)+(1x10)(T) AWG	M	10,00	\$6,98	\$69,80
B3	BATERÍA SANITARIA GRANDE ESTRUCTURA METÁLICA 1				SUBTOTAL	\$ 27.736,32
		PRELIMINARES			C	
115	0119	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	M2	60,21	\$1,74	\$104,77
116	0181	REPLANTEO MANUAL PARA EDIFICACIONES	M2	60,21	\$1,45	\$87,30
117	0093	EXCAVACION MANUAL EN CIMIENTOS Y PLINTOS	M3	34,97	\$13,33	\$466,15
		ESTRUCTURA				
118	0179	RELLENO COMPACTADO CON SUB-BASE CLASE III	M3	7,36	\$28,93	\$212,92
119	0095	HORMIGON CICLÓPEO 60% H.S.Y	M3	14,4	\$118,08	\$1.700,35

		40% PIEDRA F´C=210 KG/CM2				
120	0180	RELLENO COMPACTADO CON SUELO NATURAL	M3	11,95	\$11,62	\$138,86
121	0100	HORMIGON SIMPLE EN CADENAS F´C=210 KG/CM2 INCLUYE ENCOFRADO	M3	2,1	\$205,16	\$430,84
122	0101	HORMIGON SIMPLE EN COLUMNAS F´C=210 KG/CM2 INCLUYE ENCOFRADO	M3	1,05	\$210,11	\$220,62
123	0109	HORMIGON SIMPLE VIGAS, F´C=210 KG/CM2, INC. ENCOFRADO	M3	0,86	\$235,19	\$202,26
124	0097	HORMIGON PREMEZCLADO F´C=210KG/CM (INC.BOMBA Y ADITIVO)	M3	3,95	\$135,33	\$534,55
125	0004	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM 8-12 MM CON ALAMBRE GALV N18	KG	1033,775	\$1,94	\$2.005,52
126	0374	ESTRUCTURA METALICA ASTM A 36 (PROVISION Y MONTAJE)	KG	496	\$3,48	\$1.726,08
127	0062	CUBIERTA DE STEEL PANEL E=35MM	M2	60,21	\$10,30	\$620,16
		MAMPOSTERÍA Y ALBAÑILERIA				
128	0130	MAMPOSTERIA DE BLOQUE PRENSADO	M2	70,78	\$18,18	\$1.286,78

		PESADO 40X20X15CM MORTERO 1:6				
129	0086	ENLUCIDO VERTICAL INTERIOR, PALETEADO FINO	M2	106,79	\$6,96	\$743,26
130	0087	ENLUCIDO VERTICAL LISO EXTERIOR CON IMPERMEABILIZANT E	M2	48,99	\$10,21	\$500,19
131	0084	ENLUCIDO DE FILOS Y FRANJAS	M	10,2	\$3,92	\$39,98
132	0079	EMPASTE INTERIOR	M2	71,87	\$3,39	\$243,64
133	0078	EMPASTE EXTERIOR	M2	42,45	\$6,18	\$262,34
134	0143	PINTURA DE CAUCHO EXTERIOR, LATEX VINILO ACRILICO	M2	42,45	\$3,38	\$143,48
135	0144	PINTURA DE CAUCHO INTERIOR, LATEX VINILO ACRILICO	M2	71,87	\$2,85	\$204,83
136	0396	CONTRAPISO H.S. F'C=210KG/CM2, E=10 CM, INCLUYE MALLA ELECTROSOLDADA R-283 5.5MM 10X10	M2	61,02	\$22,62	\$1.380,27
137	0265	CERAMICA ALTO TRAFICO (45X45) CM2 PARA PISO ALIS-NUEVO; INCLUYE MORTEROS ADHESIVOS	M2	25,4	\$28,45	\$722,63
138	0045	CERAMICA DE PARED ALIS-NUEVO; INCLUYE MORTEROS ADHESIVOS	M2	36,91	\$53,88	\$1.988,71

		CARPINTERÍA METÁLICA				
139	0500	CELOSIA DE TUBO METALICO SEGÚN DISEÑO	M2	20,47	\$57,78	\$1.182,76
140	0469	DIVISIONES INTERNAS DE TOOL PARA BATERIAS SANITARIAS	M2	16,15	\$86,85	\$1.402,63
141	0447	DIVISIONES DE URINARIOS	U	3	\$66,37	\$199,11
142	0154	PUERTA DE TOOL H=210MM, ESPESOR 0,9MM	M2	3,78	\$81,73	\$308,94
143	0048	CERRADURA LLAVE LLAVE	U	2	\$24,89	\$49,78
		AGUA POTABLE Y PIEZAS SANITARIAS				
144	0450	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA POTABLE 1/2''	U	1	\$98,51	\$98,51
145	0200	TUBERIA PVC 3/4" ROSCABLE AGUA FRIA, INC ACCESORIOS	M	12,8	\$4,93	\$63,10
146	0199	TUBERIA PVC 1/2" ROSCABLE AGUA FRIA, INC ACCESORIOS	M	12,9	\$4,13	\$53,28
147	0158	PUNTO DE AGUA FRIA PVC 1/2" ROSCABLE INC. ACCESORIOS	PTO	15	\$27,85	\$417,75
148	0436	VALVULA DE COMPUERTA 1/2" (INCLUYE SUM. , ACCES. Y PRUEBAS)	U	2	\$25,15	\$50,30
149	0437	VALVULA DE COMPUERTA 3/4"	U	2	\$29,57	\$59,14

		(INCLUYE SUM. , ACCES. Y PRUEBAS)				
150	0692	VALVULA CHECK 3/4	U	3	\$33,21	\$99,63
151	0316	LLAVE ANGULAR 1/2" PARA INODORO, INCLUYE MANGUERA DE ABASTO	U	6	\$15,04	\$90,24
152	0113	INODORO BLANCO LINEA ECONOMICA	U	6	\$152,61	\$915,66
153	0116	LAVAMANOS EMPOTRADO LINEA ECONOMICA NO INC. GRIFERIA	U	1	\$83,67	\$83,67
154	0305	URINARIO BLANCO, INCLUYE LLAVE CRUZ FIJA DE 1/2"	U	4	\$107,41	\$429,64
155	0317	SIFON PVC 1 1/4" PARA LAVAMANOS	U	3	\$11,35	\$34,05
156	0094	LLAVE PARA LAVAMANOS INC LLAVE ANGULAR Y MANGUERA FLEXIBLE	U	5	\$48,65	\$243,25
157	0497	LAVAMANOS COLECTIVO DE HORMIGON	M	3,3	\$43,36	\$143,09
158	0058	JUEGO DE BARRAS EN ACERO INOXIDABLE: ABATIBLE 767X194MM Y MEDIANA 762MM PARA BAÑO DE DISCAPACITADOS	U	1	\$231,79	\$231,79
		AGUAS SERVIDAS				
159	0166	PUNTO DE DESAGUE DE PVC 75MM, INC ACCESORIOS	PTO	10	\$58,17	\$581,70

160	0165	PUNTO DE DESAGUE DE PVC 110MM, INC ACCESORIOS	PTO	6	\$63,28	\$379,68
161	0290	TUBERIA DE DESAGUE PVC 75 MM	M	22,5	\$10,60	\$238,50
162	0292	TUBERIA DE DESAGUE PVC 110 MM	M	16	\$12,85	\$205,60
163	0177	REJILLA DE PISO DE ALUMINIO 50 MM	U	3	\$7,99	\$23,97
164	0430	SUMINISTRO E INSTALACION TANQUE SEPTICO BIODIGESTOR AUTOLIMPIABLE 1300 LITROS	U	1	\$1.013,89	\$1.013,89
165	0323	LIMPIEZA DE SISTEMA DE AGUAS SERVIDAS (POZOS SEPTICOS)	U	1	\$376,99	\$376,99
166	0038	CAJA DE REVISION DE LADRILLO MAMBRON (0.60X0.60M) CON TAPA DE HORMIGON	U	2	\$92,07	\$184,14
		AGUA LLUVIA Y UTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS				
167	0039	CANAL RECOLECTOR DE AGUAS LLUVIAS 4" PVC	M	9,1	\$10,82	\$98,46
168	0024	BAJANTE PVC DE AGUAS LLUVIAS 110MM UNION CODO	M	4,1	\$22,47	\$92,13
169	0292	TUBERIA DE DESAGUE PVC 110 MM	M	14	\$12,85	\$179,90

170	0001	ACCESORIOS CANAL RECOLECTOR DE AGUAS LLUVIAS 4" PVC	U	3	\$13,16	\$39,48
171	0038	CAJA DE REVISION DE LADRILLO MAMBRON (0.60X0.60M) CON TAPA DE HORMIGON	U	1	\$92,07	\$92,07
172	0298	BOMBA 1/2 HP (1"-1") INCLUYE VALVULA DE RETENCION Y TANQUE	U	1	\$285,86	\$285,86
173	0175	REJILLA DE ALUMINIO 150X110 MM TIPO HONGO	U	1	\$24,13	\$24,13
174	0301	TANQUE PVC DE AGUA 2000 LT INCLUYE ACCESORIOS E INSTALACIÓN	U	1	\$311,63	\$311,63
		INSTALACIONES ELÉCTRICAS				
175	0170	PUNTO DE TOMACORRIENTE DOBLE 110 V TUBO CONDUIT EMT 1/2", 1FX10+1NX10+1TX12 AWG	PTO	4	\$42,53	\$170,12
176	0173	PUNTO INTERRUPTOR SIMPLE (APLIQUE)	PTO	2	\$29,43	\$58,86
177	0172	PUNTO INTERRUPTOR DOBLE (APLIQUE)	PTO	3	\$31,00	\$93,00
178	0193	CENTRO DE CARGA 2 FASES/4ESP/100A	U	1	\$50,38	\$50,38

179	0035	BREAKER SOBREPUESTO 1 POLO / 16A	U	1	\$15,07	\$15,07
180	0321	BREAKER ENCHUFABLE 1 POLO / 20A	U	2	\$12,09	\$24,18
181	0503	PROVISION E INSTALACION DE APLIQUE DE PARED 18W EXTERIOR	U	8	\$18,72	\$149,76
182	0336	FOCO LED 20W E27 CON PLAFÓN	U	2	\$8,97	\$17,94
183	0167	PUNTO DE ILUMINACION 2X12AWG	PTO	14	\$44,72	\$626,08
184	0409	LUMINARIA LED 2X18W/120V/6000°K SOBREPUESTA	U	4	\$31,03	\$124,12
185	0507	ANCLAJE LUMINARIA CON CADENA 1 metro	M	4	\$12,79	\$51,16
186	0214	ALIMENTADOR COBRE (2x8)(F)+(1x8)(N)+(1x1 0)(T) AWG	M	15	\$6,98	\$104,70
B4	BATERÍA SANITARIA GRANDE ESTRUCTURA METÁLICA 2				SUBTOTAL	\$ 27.736,32
		PRELIMINARES				
187	0119	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	M2	60,21	\$1,74	\$104,77
188	0181	REPLANTEO MANUAL PARA EDIFICACIONES	M2	60,21	\$1,45	\$87,30
189	0093	EXCAVACION MANUAL EN CIMENTOS Y PLINTOS	M3	34,97	\$13,33	\$466,15
		ESTRUCTURA				

190	0179	RELLENO COMPACTADO CON SUB-BASE CLASE III	M3	7,36	\$28,93	\$212,92
191	0095	HORMIGON CICLÓPEO 60% H.S.Y 40% PIEDRA F´C=210 KG/CM2	M3	14,4	\$118,08	\$1.700,35
192	0180	RELLENO COMPACTADO CON SUELO NATURAL	M3	11,95	\$11,62	\$138,86
193	0100	HORMIGON SIMPLE EN CADENAS F´C=210 KG/CM2 INCLUYE ENCOFRADO	M3	2,1	\$205,16	\$430,84
194	0101	HORMIGON SIMPLE EN COLUMNAS F´C=210 KG/CM2 INCLUYE ENCOFRADO	M3	1,05	\$210,11	\$220,62
195	0109	HORMIGON SIMPLE VIGAS, F´C=210 KG/CM2, INC. ENCOFRADO	M3	0,86	\$235,19	\$202,26
196	0097	HORMIGON PREMEZCLADO F´C=210KG/CM (INC.BOMBA Y ADITIVO)	M3	3,95	\$135,33	\$534,55
197	0004	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM 8-12 MM CON ALAMBRE GALV N18	KG	1033,775	\$1,94	\$2.005,52
198	0374	ESTRUCTURA METALICA ASTM A 36 (PROVISION Y MONTAJE)	KG	496	\$3,48	\$1.726,08
199	0062	CUBIERTA DE STEEL PANEL E=35MM	M2	60,21	\$10,30	\$620,16

		MAMPOSTERÍA Y ALBAÑILERIA				
200	0130	MAMPOSTERIA DE BLOQUE PRENSADO PESADO 40X20X15CM MORTERO 1:6	M2	70,78	\$18,18	\$1.286,78
201	0086	ENLUCIDO VERTICAL INTERIOR, PALETEADO FINO	M2	106,79	\$6,96	\$743,26
202	0087	ENLUCIDO VERTICAL LISO EXTERIOR CON IMPERMEABILIZANTE	M2	48,99	\$10,21	\$500,19
203	0084	ENLUCIDO DE FILOS Y FRANJAS	M	10,2	\$3,92	\$39,98
204	0079	EMPASTE INTERIOR	M2	71,87	\$3,39	\$243,64
205	0078	EMPASTE EXTERIOR	M2	42,45	\$6,18	\$262,34
206	0143	PINTURA DE CAUCHO EXTERIOR, LATEX VINILO ACRILICO	M2	42,45	\$3,38	\$143,48
207	0144	PINTURA DE CAUCHO INTERIOR, LATEX VINILO ACRILICO	M2	71,87	\$2,85	\$204,83
208	0396	CONTRAPISO H.S. F´C=210KG/CM2, E=10 CM, INCLUYE MALLA ELECTROSOLDADA R-283 5.5MM 10X10	M2	61,02	\$22,62	\$1.380,27
209	0265	CERAMICA ALTO TRAFICO (45X45) CM2 PARA PISO ALIS-NUEVO; INCLUYE MORTEROS ADHESIVOS	M2	25,4	\$28,45	\$722,63

210	0045	CERAMICA DE PARED ALIS-NUEVO; INCLUYE MORTEROS ADHESIVOS	M2	36,91	\$53,88	\$1.988,71
		CARPINTERÍA METÁLICA				
211	0500	CELOSIA DE TUBO METALICO SEGÚN DISEÑO	M2	20,47	\$57,78	\$1.182,76
212	0469	DIVISIONES INTERNAS DE TOOL PARA BATERIAS SANITARIAS	M2	16,15	\$86,85	\$1.402,63
213	0447	DIVISIONES DE URINARIOS	U	3	\$66,37	\$199,11
214	0154	PUERTA DE TOOL H=210MM, ESPESOR 0,9MM	M2	3,78	\$81,73	\$308,94
215	0048	CERRADURA LLAVE LLAVE	U	2	\$24,89	\$49,78
		AGUA POTABLE Y PIEZAS SANITARIAS				
216	0450	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA POTABLE 1/2''	U	1	\$98,51	\$98,51
217	0200	TUBERIA PVC 3/4" ROSCABLE AGUA FRIA, INC ACCESORIOS	M	12,8	\$4,93	\$63,10
218	0199	TUBERIA PVC 1/2" ROSCABLE AGUA FRIA, INC ACCESORIOS	M	12,9	\$4,13	\$53,28
219	0158	PUNTO DE AGUA FRIA PVC 1/2" ROSCABLE INC. ACCESORIOS	PTO	15	\$27,85	\$417,75
220	0436	VALVULA DE COMPUERTA 1/2''	U	2	\$25,15	\$50,30

		(INCLUYE SUM. , ACCES. Y PRUEBAS)				
221	0437	VALVULA DE COMPUERTA 3/4" (INCLUYE SUM. , ACCES. Y PRUEBAS)	U	2	\$29,57	\$59,14
222	0692	VALVULA CHECK 3/4	U	3	\$33,21	\$99,63
223	0316	LLAVE ANGULAR 1/2" PARA INODORO, INCLUYE MANGUERA DE ABASTO	U	6	\$15,04	\$90,24
224	0113	INODORO BLANCO LINEA ECONOMICA	U	6	\$152,61	\$915,66
225	0116	LAVAMANOS EMPOTRADO LINEA ECONOMICA NO INC. GRIFERIA	U	1	\$83,67	\$83,67
226	0305	URINARIO BLANCO, INCLUYE LLAVE CRUZ FIJA DE 1/2"	U	4	\$107,41	\$429,64
227	0317	SIFON PVC 1 1/4" PARA LAVAMANOS	U	3	\$11,35	\$34,05
228	0094	LLAVE PARA LAVAMANOS INC LLAVE ANGULAR Y MANGUERA FLEXIBLE	U	5	\$48,65	\$243,25
229	0497	LAVAMANOS COLECTIVO DE HORMIGON	M	3,3	\$43,36	\$143,09
230	0058	JUEGO DE BARRAS EN ACERO INOXIDABLE: ABATIBLE 767X194MM Y MEDIANA 762MM PARA BAÑO DE DISCAPACITADOS	U	1	\$231,79	\$231,79

		AGUAS SERVIDAS				
231	0166	PUNTO DE DESAGUE DE PVC 75MM, INC ACCESORIOS	PTO	10	\$58,17	\$581,70
232	0165	PUNTO DE DESAGUE DE PVC 110MM, INC ACCESORIOS	PTO	6	\$63,28	\$379,68
233	0290	TUBERIA DE DESAGUE PVC 75 MM	M	22,5	\$10,60	\$238,50
234	0292	TUBERIA DE DESAGUE PVC 110 MM	M	16	\$12,85	\$205,60
235	0177	REJILLA DE PISO DE ALUMINIO 50 MM	U	3	\$7,99	\$23,97
236	0430	SUMINISTRO E INSTALACION TANQUE SEPTICO BIODIGESTOR AUTOLIMPIABLE 1300 LITROS	U	1	\$1.013,89	\$1.013,89
237	0323	LIMPIEZA DE SISTEMA DE AGUAS SERVIDAS (POZOS SEPTICOS)	U	1	\$376,99	\$376,99
238	0038	CAJA DE REVISION DE LADRILLO MAMBRON (0.60X0.60M) CON TAPA DE HORMIGON	U	2	\$92,07	\$184,14
		AGUA LLUVIA Y UTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS				
239	0039	CANAL RECOLECTOR DE AGUAS LLUVIAS 4" PVC	M	9,1	\$10,82	\$98,46
240	0024	BAJANTE PVC DE AGUAS LLUVIAS 110MM UNION CODO	M	4,1	\$22,47	\$92,13

241	0292	TUBERIA DE DESAGUE PVC 110 MM	M	14	\$12,85	\$179,90
242	0001	ACCESORIOS CANAL RECOLECTOR DE AGUAS LLUVIAS 4" PVC	U	3	\$13,16	\$39,48
243	0038	CAJA DE REVISION DE LADRILLO MAMBRON (0.60X0.60M) CON TAPA DE HORMIGON	U	1	\$92,07	\$92,07
244	0298	BOMBA 1/2 HP (1"-1") INCLUYE VALVULA DE RETENCION Y TANQUE	U	1	\$285,86	\$285,86
245	0175	REJILLA DE ALUMINIO 150X110 MM TIPO HONGO	U	1	\$24,13	\$24,13
246	0301	TANQUE PVC DE AGUA 2000 LT INCLUYE ACCESORIOS E INSTALACIÓN	U	1	\$311,63	\$311,63
		INSTALACIONES ELÉCTRICAS				
247	0170	PUNTO DE TOMACORRIENTE DOBLE 110 V TUBO CONDUIT EMT 1/2", 1FX10+1NX10+1TX12 AWG	PTO	4	\$42,53	\$170,12
248	0173	PUNTO INTERRUPTOR SIMPLE (APLIQUE)	PTO	2	\$29,43	\$58,86
249	0172	PUNTO INTERRUPTOR DOBLE (APLIQUE)	PTO	3	\$31,00	\$93,00

250	0193	CENTRO DE CARGA 2 FASES/4ESP/100A	U	1	\$50,38	\$50,38
251	0035	BREAKER SOBREPUESTO 1 POLO / 16A	U	1	\$15,07	\$15,07
252	0321	BREAKER ENCHUFABLE 1 POLO / 20A	U	2	\$12,09	\$24,18
253	0503	PROVISION E INSTALACION DE APLIQUE DE PARED 18W EXTERIOR	U	8	\$18,72	\$149,76
254	0336	FOCO LED 20W E27 CON PLAFÓN	U	2	\$8,97	\$17,94
255	0167	PUNTO DE ILUMINACION 2X12AWG	PTO	14	\$44,72	\$626,08
256	0409	LUMINARIA LED 2X18W/120V/6000°K SOBREPUESTA	U	4	\$31,03	\$124,12
257	0507	ANCLAJE LUMINARIA CON CADENA 1 metro	M	4	\$12,79	\$51,16
258	0214	ALIMENTADOR COBRE (2x8)(F)+(1x8)(N)+(1x1 0)(T) AWG	M	15	\$6,98	\$104,70
P1	JUEGOS INFANTILES Y EXTERIORES				SUBTOTAL	\$ 6.849,74
					E	
259	0119	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	M2	30	\$1,74	\$52,20
260	0181	REPLANTEO MANUAL PARA EDIFICACIONES	M2	30	\$1,45	\$43,50
261	0354	SUMINISTRO E INSTLACION RECUBRIMIENTO DE CESPED SINTETICO H = 25 MM (INCLUYE	M2	25	\$28,35	\$708,75

		LINEAS, ARENA DE SILICE Y BOLAS DE CAUCHO PARA AMORTIGUAR)				
262	0061	CONTRAPISO F' C.210 KG/CM2, E=8CM INCLUYE MALLA ELECTROSOLDADA	M2	25	\$24,62	\$615,50
263	0353	SUMINISTRO E INSTALACION DE SET DE JUEGOS INFANTILES DE POLIETILENO (5.50X3M), INCLUYE ACCESORIOS DE INSTALACION	U	1	\$3.153,91	\$3.153,91
264	0345	JUEGO DE PASAMANOS - JUEGO INFANTIL	U	1	\$1.261,08	\$1.261,08
265	0259	CERRAMIENTO CON MALLA ELECTROSOLDADA 5,5 MM DE 10X10 Y TUBO CUADRADO 75X75X2MM	M	20	\$47,18	\$943,60
266	0333	PLACA METALICA CUADRADA 25X25CM E=6MM	U	8	\$8,90	\$71,20
P2	AMBIENTAL				SUBTOTAL	\$ 2.561,19
					F	
267	0009	AGUA PARA CONTROL DE POLVO	M3	6	\$6,23	\$37,38
268	0273	CERRAMIENTO PROVISIONAL DE YUTE	M	127	\$4,95	\$628,65
269	0398	EXTINTOR POLVO QUIMICO ABC 10LB (PQS)	U	2	\$57,71	\$115,42

270	0401	CINTA PLASTICA DE SEGURIDAD	M	127	\$0,45	\$57,15
271	0402	SEÑALIZACION DE SEGURIDAD TIPO CABALLETE 1,2X0,60	U	1	\$160,26	\$160,26
272	0403	SEÑALIZACION DE SEGURIDAD TIPO PEDESTAL 0,60X0,60M	U	1	\$100,52	\$100,52
273	0479	SEÑALIZACION DE SEGURIDAD FORMATO A4	U	11	\$26,37	\$290,07
274	0404	LETRERO INFORMATIVO (FORMATO A1)	U	1	\$125,78	\$125,78
275	0696	SUMINISTRO DE TANQUES METALICOS 55GAL	U	3	\$17,25	\$51,75
276	0693	MONTAJE Y DESMONTAJE DE BATERIAS SANITARIAS PORTATILES	U	1	\$261,05	\$261,05
277	0694	SOCIALIZACION A LA COMUNIDAD	U	1	\$184,95	\$184,95
278	0676	CIERRE TECNICO DE POZO SEPTICO	U	1	\$425,16	\$425,16
279	0695	ARBORIZACION	U	5	\$24,61	\$123,05
P3	POZO SÉPTICO				SUBTOTAL G	\$ 1.440,95
280	0066	DERROCAMIENTO DE ESTRUCTURA EXISTENTE HORMIGON ARMADO	M3	0,6	\$107,49	\$64,49
281	0093	EXCAVACION MANUAL EN	M3	11,55	\$13,33	\$153,96

		CIMIENTOS Y PLINTOS				
282	0014	AUX: HORMIGON SIMPLE F'C.210 KG/CM2	M3	1,39	\$96,37	\$133,95
283	0248	MAMPOSTERIA DE LADRILLO BURRITO ECHADO (19X11X16)	M2	25,64	\$18,69	\$479,21
284	0004	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM 8-12 MM CON ALAMBRE GALV N18	KG	50,21	\$1,94	\$97,41
285	0086	ENLUCIDO VERTICAL INTERIOR, PALETEADO FINO	M2	25,64	\$6,96	\$178,45
286	0289	TUBERIA DE DESAGUE PVC 50 MM	M	9,58	\$7,11	\$68,11
287	0292	TUBERIA DE DESAGUE PVC 110 MM	M	20,65	\$12,85	\$265,35
B5	AULAS EXISTENTES				SUBTOTAL	\$ 1.028,29
					H	
288	0143	PINTURA DE CAUCHO EXTERIOR, LATEX VINILO ACRILICO	M2	163,48	\$3,38	\$552,57
289	0274	MANTENIMIENTO DE PUERTA TOOL	U	5	\$56,38	\$281,90
290	0222	MANTENIMIENTO DE REJAS DE PROTECCION METALICA	M2	22	\$8,81	\$193,82

El primer objetivo específico buscó diagnosticar las condiciones actuales de los procesos constructivos de escuelas rurales en el cantón Salitre mediante encuestas estructuradas a 30 responsables técnicos. El instrumento de 19 preguntas cubrió cuatro dimensiones: perfil profesional, condiciones del proceso constructivo actual, nivel de conocimiento Lean, y disposición hacia herramientas de mejora. Los resultados constituyen la evidencia empírica que justifica y calibra el modelo propuesto en el O.E.2.

Tabla 11*Ficha técnica*

FICHA TÉCNICA	DETALLE	FICHA TÉCNICA	DETALLE
Área de estudio	Cantón Salitre, Guayas	Período	Febrero 2026
Encuestados válidos	30 profesionales	Instrumento	Google Forms — 19 preguntas
Perfil principal	16 Ingenieros residentes	Experiencia predominante	2-5 años (41.4%)
Conoce Lean	72.4% algún nivel	Ha aplicado Lean	Solo 20.7%

Nota: Elaboración propia

3.8. Hallazgos Principales

Los resultados del diagnóstico revelaron cuatro patrones críticos que definen la problemática de la construcción educativa rural en Salitre:

Tabla 12*Resultados del diagnóstico*

INDICADOR	RESULTADO ENCUESTA	IMPLICACIÓN ECONÓMICA	RESPUESTA EN EL MODELO
Frecuencia retrasos	Media 3.0/5 — 37.4% en nivel 4-5	\$1,875/día × retraso promedio 15 días = \$28,125 por obra	Last Planner System: reducción retrasos al <10%
Desperdicio materiales	Prom. 9.8% — 52% supera el 10%	\$131,239 × 9.8% = \$12,861 destruidos por obra	Protocolo acopio + inventario diario: meta 5.5%
Desviación de costo	Media 9.2% — 65.4% supera el 5%	Sobrecosto promedio: \$12,074 por obra	Pull Planning + compras consolidadas: meta <5%
Extensión de plazo	62% supera 10% de extensión	7-28 días extras: \$13,124-\$52,496 en obra típica	Takt Time + paralelismo: reducción 29-46%

Nota: Elaboración propia

3.9. Causas Raíz Identificadas

El análisis cualitativo de las respuestas abiertas permitió categorizar las causas raíz en cinco grupos, ordenados por frecuencia de mención:

Logística y acceso rural (31%): 'Solo llega una mula o una lancha. Al no haber planeado el transbordo, el dinero se acaba antes de poner el primer ladrillo.' Esta causa es exclusiva del entorno rural y no aparece en modelos Lean urbanos, razón por la que el Protocolo Logístico Rural se convirtió en un pilar específico del modelo MGL-Rural.

Coordinación y planificación deficiente (24.1%): las respuestas no dejan mucho espacio para interpretaciones: "mala coordinación, establecer mayor organización, tomar en serio el puesto." Que no exista una herramienta de planificación colaborativa explica gran parte de los retrasos que se dan en obra, porque son retrasos que con mejor organización desde el arranque se podrían evitar perfectamente.

Problemas financieros: pagos tardíos (17.2%): "El pago no es oportuno" y "retraso de pagos de planillas de obra." Es un problema estructural que el modelo no puede solucionar de forma directa, pero el LPS sí puede ayudar a reducir su impacto al acortar el plazo total de la obra y disminuir el tiempo durante el cual el contratista está expuesto financieramente.

Condiciones climáticas: época invernal (13.8%): "Etapa invernal" y "riesgo de inundaciones por la cuenca del río Guayas." Acá el modelo Lean moderado juega un papel importante, porque reducir el plazo de 70 a 50 días disminuye bastante la probabilidad de que la obra se cruce con la temporada de lluvias y todo lo que eso implica.

Planos sin detalles suficientes (10.3%): "Falta de detalles en planos" y "falta de estudio de suelo." Para compensar esta limitación de diseño, el modelo propone el uso de cartillas constructivas ilustradas que le den al personal en campo la información que los planos no siempre incluyen.

3.10. Fundamentos y Principios de Diseño

El Modelo de Gestión Lean Construction Adaptado para Salitre (MGL-Rural) fue diseñado a partir de tres restricciones no negociables que emergen directamente de los datos del diagnóstico: primero, operar sin tecnología avanzada (barrera señalada por el 58.6% de los encuestados); segundo, implementarse con una inversión máxima de USD 200 (barrera señalada por el 24.1%); y tercero, ser ejecutable por profesionales con 2-5 años de experiencia, que constituyen el 41.4% del universo técnico del cantón y fuera de él. Estas restricciones no son limitaciones del modelo: son parte de su fortaleza, porque garantizan que cualquier contratista que opere en Salitre pueda adoptarlo desde el primer día sin resistencia tecnológica ni económica.

3.11. Los 4 Pilares del MGL-Rural

El modelo se estructura en cuatro pilares interdependientes, cada uno diseñado para atacar una causa raíz identificada en el diagnóstico. La suma de los cuatro pilares produce el impacto total de ahorro y reducción de plazo:

Tabla 13

Los 4 Pilares

PILAR	NOMBRE	HERRAMIENTA CENTRAL	CAUSA RAÍZ ATACADA	IMPACTO ESPERADO
P1	Last Planner Rural	Reunión 20 min lunes + lookahead 2 sem. + stand-up 10 min diario	Coordinación deficiente (24.1%)	PPC: 55%→80%+ / Retrasos -29%
P2	Takt Time Visual	Zonas marcadas con tiza/cordel + meta diaria visible por cuadrilla	Esperas y tiempos muertos	Tiempos muertos -25-35%
P3	Protocolo Logístico	Confirmación materiales 7 días antes + ruta verificada + acopio por frente	Logística rural (31%)	70% retrasos logísticos eliminados
P4	Gestión de Residuos	Contenedores por tipo + inventario diario + reutilización sobrantes	Desperdicio (9.8% prom.)	Desperdicio: 9.8%→5.5%

Nota: Elaboración propia

3.12. PILAR 1 — Last Planner System (LPS) Aplicado al Proyecto

El Last Planner System es el corazón operativo del modelo MGL-Rural y la herramienta con mayor impacto demostrado sobre la reducción de retrasos en proyectos de construcción latinoamericanos. En su versión adaptada para Salitre, opera en cuatro niveles jerárquicos que van desde la planificación estratégica de toda la obra hasta el compromiso diario de cada cuadrilla. La evidencia internacional indica que una aplicación consistente del LPS eleva el Porcentaje de Plan Completado (PPC) del 50-60% habitual en construcción convencional a más del 80%, lo que se traduce directamente en reducción de plazos y costos.

3.12.1. NIVEL 1 — Plan Maestro por Fases (Phase Scheduling)

El Plan Maestro define la secuencia estratégica de la obra completa, identificando los hitos de entrega de cada bloque y las dependencias críticas entre ellos. Para el proyecto

EEB Leónidas Plaza, la innovación central respecto al esquema constructivo convencional es la ejecución paralela de bloques estructuralmente idénticos: B1 y B2 (aulas) desde el día 1, y B3 y B4 (baterías sanitarias) con desfase de una semana para permitir la rotación de encofrados sin costo adicional.

Tabla 14

Plan Maestro

BLQ	FASE / BLOQUE	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
B1	Aula Tipo Urbana 1	■	■	■	■	■	■				
B2	Aula Tipo Urbana 2	■	■	■	■	■	■				
B3	Batería Sanitaria 1		■	■	■	■	■	■	■	■	
B4	Batería Sanitaria 2			■	■	■	■	■	■	■	
P2	Ambiental	■									
P3	Pozo Séptico			■	■						
P1	Juegos Infantiles							■	■		
B5	Aulas Existentes							■	■		
★	ENTREGA TOTAL										■

Nota: Elaboración propia

3.12.2. NIVEL 2 — Pull Planning (Planificación hacia Atrás)

El Pull Planning construye la secuencia de actividades desde la fecha de entrega hacia atrás, definiendo para cada fase qué debe estar listo antes de que pueda iniciar. Este enfoque da vuelta a la lógica tradicional de planificar hacia adelante y empujar el trabajo, y la reemplaza por una cadena de dependencias donde cada cuadrilla define qué necesita recibir para poder arrancar. Lo que se logra con eso es identificar restricciones con anticipación, porque si no se levantan a tiempo terminan generando los tiempos de espera que el diagnóstico identificó como la muda de mayor costo, con unos \$3,937 estimados solo en ese proyecto.

Tabla 15

Pull Planning

BLQ	ACTIVIDAD	ENTREGA REQUERIDA PARA INICIAR (¿qué necesito del proceso anterior?)	RESPONSABLE	ACCIÓN PREVENTIVA LEAN
P2	Cerramiento + señalética	Orden de inicio firmada. Materiales en sitio.	Residente	Tramitar 2 sem. antes. Comprar señalética anticipada.
B1+B2	Replanteo paralelo	Cerramiento colocado. Topógrafo contratado. Planos impresos.	Topógrafo + Residente	Contratar topógrafo con 5 días de anticipación.
B1+B2	Excavación cimientos	Replanteo aprobado por fiscalización. Picos y palas x4.	Maestro de obras	Verificar que no hay redes soterradas en el área.
B1+B2	Cimentación paralela	Pedido hormigón confirmado 5 días antes. Encofrado metálico en sitio.	Maestro hormigón	Pedir betonera 3 días antes. Verificar ruta mixer.
B3+B4	Prelim+Excavación	Cuadrilla libre (viene de B1/B2). Planos BBSS aprobados.	Maestro de obras	Rotar cuadrilla desde B1 en semana 2.
P3	Excavación pozo	Cuadrilla de excavación B3/B4 disponible.	Maestro de obras	Coordinar en semana 3 cuando cuadrilla libre.
B1+B2	Acero habilitado	Pedido consolidado B1+B2+B3+B4 ENTREGADO. Cortadora disponible.	Proveedor acero	CRÍTICO: pedir TODO el acero en semana 0.
B1+B2	Hormigón columnas/vigas	Acero colocado y aprobado. Camión mixer confirmado.	Maestro hormigón	Coordinar 2 mixers mismo día: B1 a 7am, B2 a 9am.
B1+B2	Estructura metálica A36	Columnas con 14d curado. Fabricación en taller COMPLETA.	Metalúrgico	CRÍTICO: pedir fabricación en semana 1. Lead time: 10 días.
B1+B2	Ventanas aluminio	Enlucido de vanos terminado y seco 3 días.	Aluminero	Visita aluminero en semana 4 para tomar medidas.

		Medidas verificadas.		
B3+B4	Cerámica	Impermeabilización curada 24h. Cerámica en bodega.	Ceramista	Prueba de impermeabilización 24h obligatoria antes.
B1+B2	Instalaciones eléctricas	Conduit EMT colocado ANTES del enlucido.	Electricista	REGLA: tubería antes de enlucido. Sin excepciones.
B3+B4	Artefactos sanitarios	Pedido consolidado (12 inodoros+8 urinarios) entregado.	Plomero	Pedir artefactos en semana 2. Un proveedor, descuento 7%.
P1	Juegos infantiles	Set entregado por proveedor. Área exterior con contrapiso.	Instalador	Pedir set en semana 7. Lead time: 5-7 días.
ENTREGA	Cierre final	Todas las pruebas aprobadas. Actas firmadas.	Residente+Fisca l.	Agendar inspección final con 3 días de anticipación.

Nota: Elaboración propia

3.12.3. Lookahead de 6 Semanas

El Lookahead es la ventana de programación que el residente de obra actualiza cada viernes, proyectando las próximas 6 semanas e identificando todas las restricciones que podrían impedir la ejecución de cada actividad. La regla fundamental del LPS establece que solo las actividades libres de restricciones pueden entrar al Plan Semanal comprometido. Una actividad con restricción no resuelta que se 'planifica' de todas formas es la causa más frecuente de incumplimiento de compromisos y baja en el PPC.

Las restricciones que deben ser identificadas y levantadas en el Lookahead para el proyecto EEB Leónidas Plaza incluyen: disponibilidad del topógrafo para el arranque (sem. 1), confirmación del proveedor de hormigón premezclado y verificación de ruta de acceso (sem. 2), entrega del pedido consolidado de acero de refuerzo para los cuatro bloques (sem. 3), recepción de la estructura metálica prefabricada para B1 y B2 (sem. 4), toma de medidas y pedido de ventanas de aluminio (sem. 4-5), recepción de artefactos sanitarios para B3 y B4 (sem. 7-8), y pedido del set de juegos infantiles (sem. 7). Cada una de estas restricciones tiene un responsable asignado y un plazo máximo para ser levantada; si no se levanta a tiempo, se dispara el protocolo de contingencia.

3.12.4. NIVEL 4 — Plan Semanal y Registro PPC

El Plan Semanal es el núcleo operativo del LPS: cada lunes, en una reunión de 20 minutos con todos los maestros de cuadrilla, se definen los compromisos concretos de la semana. Solo ingresan actividades que tienen todas sus restricciones resueltas. Cada compromiso especifica: la cuadrilla responsable, la actividad exacta, la cantidad meta, el bloque de trabajo, y el día de terminación. El siguiente viernes, cada compromiso se marca como Completado (C) o No Completado (NC), y se calcula el PPC de la semana.

Tabla 16

Plan Semanal y Registro PPC

SEMAN A	COMPROMISO S CLAVE DE LA SEMANA	CUADRILLA A	META	COSTO SEMAN A	RESTRICCIÓN PREVIA
SEM 1	Replanteo B1+B2 paralelo + excavación cimientos B1+B2 + pedido consolidado acero + estructura metálica	Topógrafo + cuadrilla 2p	244 m ² replanteados	\$1,470	Orden de inicio + topógrafo contratado
SEM 2	Cimentación B1+B2 paralela (ciclópeo + plintos) + inicio excavación B3+B4	Cuadrilla hormigón 4p	2 cimentaciones en curso	\$8,003	Hormigón confirmado + encofrado en sitio
SEM 3	Acero habilitado B1+B2 + cimentación B3+B4 + excavación P3	Ferrallista 3p	4,556 kg habilitados	\$9,224	Acero entregado en sitio (pedido sem.0)
SEM 4	Hormigón columnas + vigas B1+B2 + montaje estructura metálica B1+B2 + cimentación B4	Hormigón + Metalúrgico	2 montajes simultáneos	\$15,791	Estructura metálica ENTREGADA
SEM 5	Cubierta paneles sandwich B1+B2 + acero + estructura B3+B4	Especialistas	164 m ² cubierta	\$8,581	Cubierta confirmada + B3 estructura lista
SEM 6	Contrapiso B1+B2 + canalización	Hormigón + Electricista	245 m ² contrapiso	\$6,608	Aprobación estructura + bloques en sitio

	eléctrica conduit B1+B2 + mampostería B3				
SEM 7	Mampostería + enlucidos B1+B2 + ventanas B1+B2 + cerámica + celosías B3	Albañil + Aluminero	56 m ² mamp. /bloque	\$11,841	Ventanas recibidas + impermeab. curada
SEM 8	Empaste + pintura B1+B2 + instalaciones eléctricas B1+B2 + sanitarias B3+B4	Pintor + Electricista	78+92 m ² pintados	\$7,953	Enlucido curado 7d + artefactos recibidos
SEM 9	Artefactos sanitarios B3+B4 + instalaciones eléctricas B3+B4 + juegos P1 + mantenimiento B5	Plomero + Electricista	Artefactos instalados	\$8,640	Pruebas parciales aprobadas
SEM 10	Acabados finales B3+B4 + P3 cierre + exteriores P1 + limpieza general + entrega oficial	Todos + Fiscalización	Obra terminada	\$4,128	Inspección final agendada

Nota: Elaboración propia

3.12.5. NIVEL 4B — Protocolo de Reunión Semanal (Formato Operativo)

La reunión semanal es el corazón del LPS y tiene que hacerse sin falta todos los lunes a primera hora. Su eficacia no depende de cuánto tiempo dure sino de la disciplina con la que se lleva a cabo. Y hay evidencia de eso: la experiencia en proyectos Lean latinoamericanos muestra que una reunión bien conducida de 20 minutos genera más valor de planificación que una reunión convencional de 2 horas donde todo el mundo habla pero nadie sigue una estructura clara.

Tabla 17

Protocolo de Reunión Semanal Protocolo de Reunión Semanal

DÍA	ACTIVIDAD	DURACIÓN	HERRAMIENTA	RESULTADO ESPERADO
VIERNES	Revisión PPC semana	15 min	Tablero físico con tarjetas	PPC calculado y registrado. Causas

	anterior: ¿cuántos compromisos se cumplieron?			de NC identificadas.
VIERNES	Lookahead: proyectar 2 semanas + identificar restricciones nuevas	20 min	Cronograma en papel	Lista de restricciones con el responsable de cada una y el plazo para resolverla antes de que afecte el avance de la obra.
VIERNES	Confirmación de materiales para semana +1 y +2	15 min	Llamadas + registro escrito	Los pedidos ya están confirmados, así que el lunes nadie llega a encontrarse con sorpresas desagradables.
LUNES	Plan semanal: compromisos por cuadrilla para los 5 días	20 min	Tarjetas de colores + pizarrón	Cada maestro firma su compromiso y todos saben exactamente qué se espera lograr esa semana.
MIÉRCOLES	Check de avance intermedio	10 min	Revisión verbal en frente	Detección de desvíos con 3 días para corregir.
DIARIO	Stand-up mañana: bloqueantes del día	10 min	Voz + señal en tablero	Cuello de botella identificado antes de que costee.

Nota: Elaboración propia

3.12.6. Takt Time — Ritmo de Producción Calculado para el Proyecto

El Takt Time establece el ritmo constante al que debe avanzar la producción para cumplir el plazo comprometido. Se calcula dividiendo la duración disponible entre la cantidad de zonas o unidades a producir. Para el proyecto EEB Leónidas Plaza, los cálculos de Takt Time por bloque son los siguientes:

Tabla 18

Ritmo de Producción Calculado para el Proyecto

BLOQUE	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN Lean (días)	ÁREA TOTAL	TAKT TIME	META DIARIA POR CUADRILLA
---------------	--------------------	---------------------------------	-----------------------	----------------------	--

B1 — Aula Tipo Urbana 1	Aula Tipo Urbana 1	28 días	122.55 m ²	4.37 m²/día	Completar 4.4 m ² de avance por disciplina por día
B2 — Aula Tipo Urbana 2	Aula Tipo Urbana 2	28 días	122.55 m ²	4.37 m²/día	Idéntico a B1 — cuadrilla espejo en paralelo
B3 — Batería Sanitaria 1	Batería Sanitaria 1	22 días	60.21 m ²	2.74 m²/día	1 zona de 30 m ² cada 11 días hábiles
B4 — Batería Sanitaria 2	Batería Sanitaria 2	22 días	60.21 m ²	2.74 m²/día	Desfasada 1 semana respecto a B3
P1 — Juegos Exteriores	Juegos Exteriores	8 días	525 m ² ext.	65.6 m²/día	Instalación set: 1 día / Contrapiso exterior: 2 días
Total Proyecto	undefined	50 días	975 m ² total	19.5 m²/día	Promedio ponderado de avance productivo

Nota: Elaboración propia

3.12.7. Análisis de Restricciones Críticas y Soluciones por Partida

Uno de los componentes más prácticos del LPS es el análisis sistemático de restricciones: obstáculos identificados con anticipación que, si no se levantan a tiempo, impiden que una actividad inicie según lo planificado. El análisis de las 290 partidas del presupuesto identificó 11 restricciones de alto impacto. El detalle completo de cada restricción, costo en riesgo, días comprometidos y solución Lean específica se presenta en el Anexo 3 (véase Tabla A3). A continuación se resumen las tres restricciones de mayor impacto financiero y operativo, que en conjunto concentran el 62% del plazo en riesgo identificado:

Tabla 19

Análisis de Restricciones

CO D.	RESTRICCIÓN	PARTIDA PRESUPUESTA DA AFECTADA	COST O EN RIESG O	DÍAS EN RIESG O	SOLUCIÓN LEAN ESPECÍFICA
----------	-------------	---------------------------------------	----------------------------	--------------------------	-----------------------------

R-01	Estructura metálica ASTM A36: lead time 10 días en taller. Si no se pide en semana 1, bloquea toda la secuencia de B1/B2.	Estructura A36: B1 \$5,890 + B2 \$5,890 + B3 \$1,726 + B4 \$1,726	\$15,232	+5d	Pedir fabricación en semana 0 (antes de iniciar obra). Incluir B1+B2+B3+B4 en un solo pedido: descuento 5-8%.
R-02	Acero de refuerzo: 7,000+ kg. Pedido fragmentado = múltiples fletes rurales = costo triplicado + esperas.	Acero 8-12mm: \$10,223 / Acero 14-32mm: \$2,780	\$13,003	+3d	UN pedido consolidado semana 0. Acopio elevado en sitio. Negociar con 3 proveedores Milagro/Guayaquil.
R-03	Ventanas aluminio: lead time fabricación 7 días. Retrasa cierre de fachada y pintura exterior.	Ventana aluminio + vidrio: B1+B2 \$5,191	\$5,192	+4d	Visita del aluminero semana 4. Pago 50% adelantado para prioridad de fabricación.
R-04	Hormigón premezclado: mixer puede no acceder a zona rural. Colada fallida = retrabajo total.	Hormigón columnas + vigas: \$1,999×B1 + \$1,999×B2 + \$1,390×B3+B4	\$9,189	+2d	Verificar ruta acceso 5 días antes. Tener betonera como respaldo. Coordinar 2 mixers el mismo día.
R-05	Artefactos sanitarios: 12 inodoros+8 urinarios. Pedido tardío bloquea pruebas hidráulicas finales.	Artefactos B3+B4: \$2,858 + \$486 + \$243	\$3,587	+3d	Pedido consolidado semana 2. Un proveedor. Descuento 7% por volumen. Entrega semana 7.
R-06	Cerámica en BBSS: si impermeabilización no cura 24h antes, retrabajo total de cerámica.	Cerámica pared: \$1,989×2 / piso: \$723×2	\$5,424	+2d	Es obligatorio hacer una prueba de agua de 24 horas entre la impermeabilización y la colocación de cerámica, y el inspector tiene que estar presente durante esa prueba, sin excepción.
R-07	Instalaciones eléctricas: si se colocan	Puntos iluminación: \$3,252	\$3,253	+3d	REGLA ABSOLUTA: conduit colocado

	DESPUÉS del enlucido, hay que picar paredes = retrabajo costoso.				ANTES del enlucido. Checklist diario en tablero LPS.
R-08	Bloques mampostería: voluminosos y pesados, requieren transbordo en zona rural. Retraso = 1 día cuadrilla parada.	Mampostería B1+B2: \$4,532 / B3+B4: \$5,146	\$9,678	+2d	Pedir bloques semana 1. Confirmar transporte. Acopio junto al frente, no en bodega central.
R-09	Biodigestor séptico: excavación requiere maquinaria. Si se hace tarde, no hay acceso con equipo.	Tanque biodigestor B3+B4: \$2,028 / sistema: \$754	\$2,782	+2d	Excavar pozo SIMULTÁNEAMENTE con cimientos de BBSS. Misma cuadrilla, un solo movimiento.
R-10	Pintura exterior: en Salitre (dic-abril) riesgo real de lluvia en primeras 24h tras aplicación.	Pintura ext. B1+B2+B3+B4+B5: \$1,462	\$1,462	+1d	Verificar pronóstico 48h antes. Programar en temporada seca (jun-nov). Imprimante para acelerar secado.
R-11	Juegos infantiles: lead time proveedor 5-7 días. Pedido tardío retrasa entrega del área exterior.	Set juegos: \$3,154 + pasamanos: \$1,261	\$4,415	+1d	Pedir en semana 7 cuando aulas están en acabados. Confirmar dirección de entrega y acceso.

Nota: Elaboración propia

3.12.8. Estrategias de Optimización de Tiempo y Recursos por Bloque

Las estrategias de optimización se derivan directamente de la aplicación del LPS y del análisis de restricciones. Para cada bloque del presupuesto se define la combinación específica de herramientas Lean que produce el mayor ahorro con el menor esfuerzo de implementación:

Bloques B1 y B2 — Aulas Tipo Urbano (48.7% del presupuesto)

Los bloques B1 y B2 representan el 48.7% del presupuesto total con USD 63,886.30 combinados. Su identidad constructiva en 57 rubros los convierte en el caso de paralelismo más claro del proyecto: ejecutarlos en secuencia es desperdiciar exactamente

35 días hábiles que podrían ser productivos. Las soluciones específicas, ordenadas por impacto:

Tabla 20

Aulas Tipo Urbano

ESTRATEGIA B1/B2	IMPACTO EN PLAZO	IMPACTO EN COSTO	ESFUERZO
Ejecución paralela desde día 1 (cuadrillas espejo)	-35 días plazo combinado	\$0 costo adicional	MUY BAJO — solo decisión organizacional
Pedido consolidado acero B1+B2+B3+B4 en semana 0	-3 días espera materiales	Ahorro 4-5% = ~\$525	MUY BAJO — una llamada más
Estructura metálica prefabricada en taller	-5 días por bloque	Sin incremento si se coordina con proveedor	BAJO — anticipar pedido 10 días
Hormigón premezclado para columnas y vigas	-2 días por bloque	Ahorro \$180-250 vs. mezcladora 1 saco	BAJO — coordinar mixer con 3 días de anticipación
Encofrado metálico sistémico (rotación B1→B2→B3→B4)	-3 días en total	Ahorro \$300-500 en alquiler	MEDIO — alquilar 2 juegos completos
Cubierta paneles sandwich: instalación en 1 jornada	-2 días por bloque	Sin incremento (precio unitario igual)	BAJO — coordinar cuadrilla especializada
Ventanas aluminio: tomar medidas semana 4	-4 días de espera	Sin incremento	MUY BAJO — visita del aluminero

Nota: Elaboración propia

Tabla 21

Resultado B1+B2

RESULTADO B1+B2	TRADICIONAL	LEAN MODERADO	LEAN AGRESIVO
Costo combinado	\$63,886.30	\$61,011.52	\$59,095.35
Plazo combinado	70 días (secuencial)	28-30 días (paralelo)	23-25 días (paralelo)
Ahorro en costo	—	\$2,874.78 (4.5%)	\$4,790.95 (7.5%)
Reducción de plazo	—	-42 días (-57%)	-47 días (-67%)

Nota: Elaboración propia

Bloques B3 y B4 — Baterías Sanitarias (42.3% del presupuesto)

Las baterías sanitarias son los bloques de mayor complejidad técnica con 69 rubros cada una, combinando estructura metálica, mampostería, cerámica, instalaciones hidrosanitarias completas y carpintería especializada. Con USD 55,472.64 combinados representan el 42.3% del total. La estrategia de paralelismo escalonado (desfase de 1 semana) permite reutilizar el mismo juego de encofrado y la misma cuadrilla de plomería sin costo adicional:

Prefabricación de manifolds de plomería: en lugar de armar todo en obra, las 15 tuberías de agua fría y los 10 puntos de desagüe de 75mm se ensamblan como módulos en taller antes de que arranque la mampostería. El plomero llega directamente a instalar piezas ya listas y precortadas, lo que baja el tiempo de instalaciones de 6-8 días a apenas 2-3 días y evita que la cuadrilla de plomería y la de mampostería se estorben entre sí. Este es el problema que más se repite en baterías sanitarias convencionales y los retrabajos que genera se estiman entre USD 800 y 1,500.

Pedido consolidado de artefactos sanitarios: 12 inodoros, 8 urinarios y 6 lavamanos en un solo pedido para B3 y B4. Con un costo actual de USD 3,587 en artefactos, un descuento del 7% por volumen significa USD 251 de ahorro directo, y coordinar todo en una sola recepción elimina el riesgo de que los trabajadores se queden parados esperando materiales que llegan por partes y a destiempo.

Cerámica con mortero adhesivo industrial: el mortero adhesivo en empaque de 25kg rinde entre 8 y 10 m² por empaque, casi el doble de los 5-6 m² que rinde el mortero mezclado en obra, y encima permite trabajar más rápido. Para los 62.31 m² de cerámica entre B3 y B4, eso se traduce en una reducción de aproximadamente 1.5 días hábiles en el tiempo de instalación, lo cual no es poco.

Prueba de impermeabilización 24 horas: protocolo obligatorio entre la aplicación del impermeabilizante y el inicio de la cerámica. Sin esta prueba, un retrabajo de cerámica en una batería sanitaria cuesta entre USD 1,500 y USD 3,000 en mano de obra y material.

3.12.9. Prototipo Escolar Rural y Metodologías Visuales

El segundo componente del O.E.2 es el diseño de un prototipo escolar adaptado al contexto rural de Salitre, donde las condiciones de acceso, clima y disponibilidad de materiales difieren significativamente de los proyectos urbanos estándar. Las especificaciones del prototipo emergen directamente de las citas textuales de los encuestados:

Tabla 22*Prototipo Escolar Rural y Metodologías Visuales*

COMPONENTE	SOLUCIÓN PARA SALITRE	VALIDACIÓN ENCUESTA (CITA TEXTUAL)	VENTAJA LEAN	VS. MÉTODO CONV.
Estructura	Metálica ASTM A36 prefabricada en taller, montaje 2 días	"En zona inundable, estructuras metálicas prefabricadas"	-5 días en sitio	-40% tiempo estructural
Cubierta	Panel sandwich termoacústico e=35mm, instalación 4 horas	"Paneles termoacústicos" (encuestado zona costera)	Impermeabilidad inmediata	-3 días instalación
Piso	Contrapiso HS f'c=210 + endurecedor de cuarzo, sin cerámica	"Alisado con endurecedor como acabado final"	Elimina fase cerámica	-2 días + \$500 ahorro
Instalaciones	Manifolds prefabricados, instalados antes de cerramientos	"Previo al inicio, preparar todo"	Cero interferencias	-3 días conflictos
Acceso	Losa de hormigón simple en ingreso (3m × ancho vía)	"El acceso" — causa directa de retraso (cita encuesta)	Entrega materiales cualquier clima	Elimina Retraso logístico

Nota: Elaboración propia

Las herramientas visuales de bajo costo propuestas para el modelo MGL-Rural responden directamente al 83% de encuestados que respalda modelos visuales simplificados y al 58.6% que señala las limitaciones tecnológicas como barrera:

1. Tablero LPS físico (pizarrón + tarjetas de colores): funciona con tres columnas, "Por hacer / En proceso / Hecho", y una tarjeta de cartón para cada actividad. El color verde indica que va en tiempo, el amarillo que hay riesgo y el rojo que está bloqueado. Cuesta entre \$8 y \$15 en total, el maestro de obras lo actualiza cada día y no requiere ningún conocimiento técnico especial para usarlo.
2. Cartilla constructiva ilustrada (A4 plastificado): tiene 10 secuencias constructivas críticas explicadas con dibujos simples y sin tecnicismos, para que cualquier obrero pueda entenderlas sin importar cuánto estudió.

Se usa una cartilla por frente de trabajo y el juego impreso cuesta entre \$3 y \$5, lo que la hace accesible para cualquier obra.

3. Maqueta volumétrica 3D con materiales locales (madera, cartón o barro): es una representación física del proyecto que permite que tanto la comunidad como los obreros vean cómo va a quedar la obra antes de que empiece. Reduce malentendidos, genera más compromiso con el resultado y su costo es mínimo, entre \$20 y \$30 usando materiales locales.
4. Semáforo de estado de obra (tres láminas A4 en verde, amarillo y rojo): tiene impresos los criterios de estado de la obra para que el director escolar pueda hacer seguimiento visual semana a semana sin necesitar conocimientos técnicos. Lo actualiza el residente y cuesta entre \$2 y \$5 en impresión. El residente lo actualiza cada semana y el costo de impresión es de entre \$2 y \$5.

3.12.10. Manual de Mantenimiento Preventivo

El Manual de Mantenimiento Preventivo es el componente de sostenibilidad del modelo MGL-Rural. Garantiza que la infraestructura construida con estándares Lean se mantenga en condiciones óptimas durante su vida útil de 25-30 años, reduciendo la necesidad de obras de rehabilitación que suelen costar entre 3 y 8 veces más que el mantenimiento preventivo. El manual utiliza el sistema semáforo para que directivos escolares y padres de familia puedan hacer seguimiento sin formación técnica:

Tabla 23

Manual de Mantenimiento Preventivo

ELEMENTO	ESTADO VERDE — Sin acción	ESTADO AMARILLO — Reportar en 7 días	ESTADO ROJO — Acción en 48 horas	COSTO APROX.
Cubierta metálica / panel sandwich	Sin óxido, tornillos ajustados, sin filtraciones	Óxido incipiente en bordes, tornillo flojo	Filtración activa, panel dañado	\$50-200
Estructura metálica (columnas/vigas)	Sin corrosión, pintura intacta	Pintura descascarada, humedad superficial	Corrosión profunda, deformación visible	\$200-800

Mampostería (paredes de bloque)	Sin fisuras, juntas completas	Fisura capilar <1mm, humedad en base	Fisura >2mm, eflorescencia extensa	\$30-150
Instalaciones eléctricas	Tomacorrientes funcionales, tablero limpio	Tomacorriente flojo, cable expuesto menor	Cable pelado, tablero con quemaduras	\$50-300
Instalaciones sanitarias (BBSS)	Sin fugas, desagüe libre, sin olores	Goteo menor, desagüe lento	Fuga activa, tubería rota	\$30-200
Biodigestor / pozo séptico	Sin olor, sin rebose, tapa hermética	Olor leve esporádico, llenado >75%	Rebose activo, olor permanente	\$100-400

Nota: Elaboración propia

El presupuesto anual estimado de mantenimiento preventivo oscila entre USD 940 y USD 1,870 por año, cubriendo 10 actividades programadas a lo largo del año. Este costo representa el 0.7-1.4% del costo de construcción original, porcentaje internacionalmente aceptado para mantener infraestructura educativa en condiciones óptimas durante 25-30 años. La alternativa no hacer mantenimiento preventivo genera obras de rehabilitación que, según datos del Ministerio de Educación del Ecuador, cuestan entre 3 y 8 veces más que el costo del mantenimiento preventivo acumulado.

Tabla 24

Aceptación modelo

ACEPTACIÓN MODELO (Encuesta)	Costo implementación P1-P4
83% acuerdo herramientas visuales	< \$200 en total

Nota: Elaboración propia

3.13. EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD Y EFICIENCIA

3.13.1. Marco del Análisis Financiero Comparativo

La evaluación de rentabilidad del modelo MGL-Rural se realizó mediante análisis financiero comparativo entre tres escenarios sobre la base del presupuesto real del proyecto EEB Leónidas Plaza (USD 131,239.11 en costos directos): el escenario Tradicional como línea base, el escenario Lean Moderado que aplica los cuatro pilares del modelo con bajo nivel de prefabricación, y el escenario Lean Agresivo que maximiza

el paralelismo y la industrialización de componentes. El análisis se centra exclusivamente en costos directos de obra, excluyendo gastos administrativos, honorarios y utilidades.

3.13.2. Cuantificación de Pérdidas por los 8 Tipos de Desperdicio (Mudas)

La teoría Lean identifica ocho tipos de desperdicio (Mudas) que consumen recursos sin agregar valor al producto. Aplicando los porcentajes derivados del diagnóstico de encuestas (n=29) al presupuesto real del proyecto, se estima que la construcción convencional en Salitre destruye entre USD 15,090 y USD 18,000 en valor por obra. Con el modelo Lean moderado, este monto se reduciría a menos de USD 6,500, generando un ahorro adicional de USD 8,590 que se suma al ahorro en costo directo de partidas:

Tabla 25

Cuantificación de Pérdidas

TIPO DE MUDA	MANIFESTACIÓN EN SALITRE Y OTRAS ZONAS RURALES (evidencia de encuestas)	COSTO ACTUAL	CON LEAN	AHORRO	PRIORIDAD
1. Esperas (Waiting)	Cuadrillas sin actividad mientras hormigón cura; materiales no llegan en época lluviosa (R-01, R-02)	\$3.937,00	\$1.181,00	\$2.756,00	MUY ALTA
2. Defectos / Retrabajos	Enlucidos fisurados por mala secuencia; cerámica rehecha; instalaciones picadas (R-06, R-07)	\$2.625,00	\$525,00	\$2.100,00	MUY ALTA
3. Transporte innecesario	Materiales movidos 3-4 veces por falta de acopio junto al frente (R-08)	\$2.625,00	\$656,00	\$1.969,00	ALTA
4. Sobreproducción	Mezclas excesivas de hormigón; compras adelantadas que se dañan	\$2.099,00	\$630,00	\$1.469,00	ALTA
5. Inventario excesivo	Capital inmovilizado en bodega central; materiales expuestos a robo y clima	\$1.312,00	\$394,00	\$918,00	MEDIA

6. Movimiento innecesario	Búsqueda de herramientas; traslados largos dentro del sitio desorganizado	\$1.312,00	\$394,00	\$918,00	MEDIA
7. Procesamiento excesivo	Pasos adicionales por planos sin detalles (señalado por el 10.3% de encuestados)	\$656,00	\$197,00	\$459,00	BAJA
8. Talento no utilizado	No se aprovecha el conocimiento del obrero local para identificar mejoras	\$524,00	\$157,00	\$367,00	MEDIA
TOTAL PÉRDIDAS			\$15,090	\$3,934	\$11,156

Nota: Elaboración propia

3.13.3. Comparativo de Costos Tradicional vs. Lean

La tabla siguiente integra los tres componentes del análisis financiero: (1) costos directos de partidas del presupuesto, (2) estimación de pérdidas por desperdicios según diagnóstico de encuestas, y (3) IVA aplicable. La combinación revela que el costo real total de la construcción convencional supera el presupuesto base en más de USD 15,000, mientras que el modelo Lean Moderado reduce ese costo real en USD 14,579:

Tabla 26

Comparativo de Costos

INDICADOR DE COSTO	TRADICIONAL (Línea Base)	LEAN MODERADO	LEAN AGRESIVO
Costo directo de obra (sin IVA)	\$131,239.11	\$125,250.07 (-4.6%)	\$121,442.44 (-7.5%)
Ahorro en costo directo	—	\$5,989.04	\$9,796.67
Pérdidas por desperdicios (estimado)	\$15,090.00	\$6,500.00	\$3,934.00
Costo real total estimado	\$146,329.11	\$131,750.07	\$125,376.44
Ahorro total vs. construcción tradicional	—	\$14,579.04	\$20,952.67
IVA 12% sobre costo directo	\$15,748.69	\$15,030.01	\$14,573.09
MONTO TOTAL CON IVA	\$146,987.80	\$140,280.08	\$136,015.53
Duración estimada (días hábiles)	70 días	50 días (-29%)	38 días (-46%)

Costo por día de obra	\$1,874.84	\$2,505.00	\$3,196.38
Índice de eficiencia (1.0 = base)	1.000	0.871 (↑12.9%)	0.791 (↑20.9%)

Nota: Elaboración propia

El análisis de ROI muestra qué tanto se recupera por cada peso que se invierte en implementar el modelo MGL-Rural. En el escenario moderado, la inversión total se estima en USD 300 distribuidos de la siguiente manera: 2 días de planificación previa con el maestro de obra por USD 120, compra del pizarrón y las tarjetas para el tablero LPS por USD 30, impresión de cartillas y formatos del plan semanal por USD 50, y una sesión de Pull Planning de 4 horas con los subcontratistas por USD 100 en tiempo del residente. Para lo que cuesta, los números que devuelve son bastante llamativos. El beneficio neto en costo directo llega a USD 5,989, lo que da un ROI de casi 20 veces la inversión inicial. Dicho de otra forma, por cada dólar que se mete en implementar el modelo, se recuperan casi veinte, algo que es difícil ignorar en cualquier contexto, pero especialmente cuando se trabaja con presupuesto público limitado. En términos simples, por cada dólar que se invierte en el modelo se recuperan casi veinte, lo cual es difícil de ignorar cuando se trabaja con presupuestos públicos ajustados:

Tabla 27

Análisis de Retorno de Inversión

ESCENARIO DE PROYECCIÓN	OBRAS 3 AÑOS	AHORRO POR OBRA	AHORRO TOTAL	INVERSIÓN CAP.	VAN (tasa 5%)	ROI
Moderado — 5 obras en 3 años	5	\$5,989	\$29,945	\$2,500	\$28,519	11.98x
Moderado — 10 obras en 3 años	10	\$5,989	\$59,890	\$4,000	\$57,038	14.97x
Agresivo — 5 obras en 3 años	5	\$9,797	\$48,985	\$5,000	\$46,653	9.80x
Agresivo — 10 obras en 3 años	10	\$9,797	\$97,970	\$7,000	\$93,305	13.99x

Nota: Elaboración propia

3.13.5. Indicadores Clave de Eficiencia (KPIs) del Modelo

La evaluación continua del modelo durante la ejecución de obra requiere un sistema de indicadores simples, medibles sin software y aplicables desde el primer día. Los seis KPIs propuestos cubren las dimensiones de planificación, costo, plazo, calidad y coordinación:

Tabla 28

Indicadores Clave de Eficiencia

	DEFINICIÓN Y FÓRMULA	LÍNEA BASE (Trad.)	META MODERADO	META AGRESIVO	CÓMO MEDIRLO EN SALITRE
PPC	% de compromisos semanales cumplidos. PPC = (Compromisos completados / Total compromisos) × 100	50-60%	>80%	>90%	Se usa el tablero físico LPS. Cada viernes se revisa tarjeta por tarjeta y se marca C si se cumplió o NC si no se cumplió. El cálculo no toma más de 2 minutos.
IDC	Índice Desviación Costo = (Costo real ejecutado – Costo presupuestado) / Costo presupuestado × 100	9.2%	<5%	<3%	Se compara la planilla de pago mensual contra el rubro que estaba presupuestado, y se registra todo en una hoja de cálculo sencilla. Nada complicado.
IDP	Índice Desviación Plazo = (Días reales transcurridos – Días planificados) / Días planificados × 100	15-35%	<10%	<5%	Semana a semana se revisa el cronograma y se van contando los días que se han perdido hasta ese momento para tener claro cuánto se está desfasando la obra.
ITD	Índice Tasa Desperdicio = Peso/volumen de materiales desperdiciados / Total de materiales utilizados × 100	9.8%	<5.5%	<3.5%	Cada día se registran los sobrantes que quedan en los contenedores, y una vez a la semana se hace un pesaje o, si no es posible, una estimación visual de lo acumulado.

IRT	Índice Retrabajo = Costo de correcciones ejecutadas / Costo total de obra ejecutado × 100	~2.0%	<1.0%	<0.5%	Se lleva un registro de no conformidades donde se anota cada retrabajo que aparece junto con el costo estimado que implica corregirlo.
NCS	Nivel Coordinación Subjetiva = Promedio de calificación (1-5) en encuesta rápida semanal a cuadrillas	3.31/5	>4.0/5	>4.5/5	Se hace una sola pregunta: "¿Cómo calificarías la coordinación de esta semana?" y se saca el promedio de las respuestas de los 3 maestros de obra.

Nota: Elaboración propia

3.13.6. Análisis de Beneficios por Bloque Presupuestario

El análisis financiero a nivel de cada bloque del presupuesto permite identificar dónde se concentra el mayor retorno económico de las acciones Lean y priorizar la implementación:

Tabla 29

Análisis de Beneficios por Bloque

COD	BLOQUE	ORIG.	LEAN MOD.	AHORRO	%	DÍAS GANADOS
B1	Aula Tipo Urbana 1	\$32.012,95	\$30.572,37	\$1.440,58	4.5%	-7 días
B2	Aula Tipo Urbana 2	\$31.873,35	\$30.439,15	\$1.434,20	4.5%	-7 días
B3	Batería Sanitaria Grande 1	\$27.736,32	\$26.349,50	\$1.386,82	5.0%	-8 días
B4	Batería Sanitaria Grande 2	\$27.736,32	\$26.349,50	\$1.386,82	5.0%	-8 días
P1	Juegos Infantiles y Exteriores	\$6.849,74	\$6.643,25	\$206,49	3.0%	-4 días
P2	Ambiental	\$2.561,19	\$2.497,16	\$64,03	2.5%	-1 días
P3	Pozo Séptico	\$1.440,95	\$1.390,32	\$50,63	3.5%	-2 días
B5	Aulas Existentes	\$1.028,29	\$1.007,72	\$20,57	2.0%	-1 días

(Mantenimiento)				
TOTAL	\$131.239,1	\$125.250,0	\$5.989,0	-20 días
	1	7	4	(4.6%)

Nota: Elaboración propia

3.13.7. Conclusión Financiera y Recomendación Final

El análisis financiero comparativo demuestra que el Modelo MGL-Rural genera beneficios económicos positivos en todos los escenarios evaluados, en línea con la literatura internacional sobre LPS en proyectos latinoamericanos (González et al., 2022; Limaylla, 2024). No obstante, dado que los resultados son de naturaleza proyectada y no constituyen evidencia de campo, es indispensable evaluar su solidez mediante un análisis de sensibilidad estructurado que cuantifique el efecto de variaciones en los supuestos críticos de entrada. El análisis de sensibilidad evalúa tres supuestos críticos independientes: (1) Tasa de realización de ahorros: si los ahorros proyectados se materializan solo al 50% por barreras de implementación (curva de aprendizaje, resistencia al cambio), el ahorro en costo directo cae de USD 5,989 a USD 2,995 y el beneficio total de USD 14,579 a USD 7,290. El ROI en este escenario pesimista es de 9.97x sobre una inversión de USD 300, manteniéndose positivo y económicamente viable. (2) Variación en el costo de implementación: si el costo real de implementación duplica el estimado (USD 600 en lugar de USD 300 por obra, por imprevistos o capacitación adicional), el ROI del escenario moderado se reduce de 48.6x a 24.3x, sin afectar los ahorros absolutos generados. (3) Escenario optimista: si el modelo alcanza los parámetros del escenario agresivo con una reducción adicional de residuos del 5%, el ahorro directo alcanza USD 9,797 y el beneficio total supera los USD 20,000 por obra. En ningún escenario evaluado el modelo genera valor económico negativo, lo que confirma su viabilidad incluso bajo condiciones desfavorables. No obstante, es fundamental señalar que el presente análisis opera exclusivamente sobre proyecciones derivadas del diagnóstico de campo y de precios unitarios del proyecto EEB Leónidas Plaza, sin validación con datos reales de implementación en obra ejecutada. La verificación empírica de estas proyecciones constituye la línea de investigación futura inmediata, y los resultados presentados deben interpretarse como proyecciones técnicas fundamentadas sujetas a corroboración mediante la ejecución y monitoreo de la obra piloto propuesta.

Por todo eso, la recomendación es adoptar el Escenario Moderado como el estándar para la construcción educativa rural en el cantón Salitre, y estas son las razones técnicas y económicas que lo sustentan:

- Ahorro en costo directo verificable: USD 5,989.04 (4.6%), distribuido entre las ocho partidas del presupuesto y auditable rubro por rubro mediante la comparación de precios unitarios antes y después de las compras consolidadas.
- Reducción de plazo de 20 días hábiles (70→50): equivalente a 4 semanas menos de interrupción para la comunidad escolar y 4 semanas menos de exposición al riesgo climático (época lluviosa) en la cuenca baja del Guayas.
- Eliminación parcial de desperdicios: se estima bajar del 9.8% al 5.5%, lo que en plata significa un ahorro de USD 8,590 en materiales que en una obra convencional simplemente desaparecen sin haber aportado nada útil.
- Beneficio total estimado: sumando el ahorro en costo directo y los desperdicios eliminados, el beneficio por obra llega a USD 14,579, y todo eso con una inversión de apenas USD 300 en planificación. El ROI resultante es de 48.6 veces lo invertido, un número que no necesita mucha explicación para convencer a cualquiera de que vale la pena intentarlo.
- Escalabilidad: si el GAD del cantón Salitre aplica el modelo en 5 obras educativas durante 3 años, el ahorro acumulado supera los USD 72,000 con una inversión en capacitación de solo USD 2,500. Es decir, a mayor escala el modelo se vuelve todavía más rentable.

CONCLUSIONES

El diagnóstico empírico aplicado a 29 responsables técnicos del cantón Salitre confirmó que los métodos tradicionales generan una desviación promedio de costos del 9.2% (USD 12,074 por proyecto), un desperdicio ponderado de materiales del 9.8% (USD 12,861 por obra) y extensiones de plazo superiores al 10% del cronograma en el 62% de los casos. Frente a este contexto, el análisis financiero comparativo proyecta que la aplicación del MGL-Rural sobre el presupuesto real del proyecto EEB Leónidas Plaza (USD 131,239.11) produce ahorros en costos directos de entre 4.6% y 7.5%, reducciones de plazo de entre el 29% y el 46%, y una disminución de desperdicios de materiales de USD 15,090 a USD 6,500. Estos resultados proyectados permiten responder afirmativamente a la pregunta de investigación: la metodología Lean Construction adaptada al entorno rural impacta favorablemente sobre la eficiencia constructiva en costos, plazos y calidad, superando de manera consistente el desempeño documentado de los métodos tradicionales vigentes en el cantón Salitre, si bien dicha respuesta quedará plenamente verificada únicamente tras la ejecución de una obra piloto monitorizada.

El objetivo general fue alcanzado en sus tres dimensiones de evaluación, en correspondencia directa con los objetivos específicos planteados al inicio de la investigación. En eficiencia económica (O.E.3), el análisis financiero demostró rentabilidad positiva en todos los escenarios: con una inversión de implementación de USD 300, el retorno sobre la inversión en la primera obra alcanza 48.6 veces, y la proyección cantonal de 5 obras en 3 años genera un ahorro acumulado superior a USD 72,000 con un VAN de USD 28,519 al 5%. En cumplimiento de plazos (O.E.2), el Last Planner System implementado proyecta reducciones de entre 20 y 32 días hábiles respecto a la planificación convencional, en línea con los estándares internacionales de gestión de proyectos recogidos en la ISO 21502 y las buenas prácticas del Project Management Institute (PMI), que definen la planificación estructurada por fases como condición necesaria para el control de plazo en proyectos de infraestructura. En calidad sostenible (O.E.1), el manual de mantenimiento preventivo con sistema semáforo extiende la vida útil de la infraestructura sin requerir formación técnica especializada, y su componente de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) se inscribe en los principios de la norma ISO 14001 para la gestión ambiental, ofreciendo un marco de seguimiento de residuos adaptado al contexto rural. El carácter adaptado del modelo, con herramientas de costo máximo USD 200, sin software y operables por profesionales con 2 a 5 años de

experiencia, constituye su principal aporte diferencial, al superar las barreras de falta de capacitación (62.1%) y limitaciones tecnológicas identificadas en el diagnóstico de campo.

El diagnóstico de campo confirmó ineficiencias sistemáticas y cuantificables en la construcción educativa rural del cantón Salitre. La frecuencia media de retrasos fue de 3.0 sobre 5, el desperdicio ponderado de materiales alcanzó el 9.8% del presupuesto (USD 12,861 por proyecto), y el sobrecosto promedio llegó al 9.2% (USD 12,074 por proyecto). En el 62% de los casos los plazos se extendieron más del 10% respecto al cronograma inicial. Las causas identificadas —acceso rural y logística (31%), falta de coordinación y planificación (24.1%) y pagos tardíos (17.2%)— se tradujeron directamente en los cuatro pilares del MGL-Rural, garantizando que las intervenciones respondan a causas raíz verificadas y no a supuestos teóricos.

Los cuatro pilares del MGL-Rural fueron diseñados para responder directamente a las causas raíz identificadas en el diagnóstico. El Sistema Last Planner, estructurado en cuatro niveles operativos (Plan Maestro, Pull Planning, Lookahead de 6 semanas y Plan Semanal), aborda la mala coordinación y planificación señalada por el 24.1% de los encuestados como causa principal de retrasos. El Protocolo Logístico Rural atiende las restricciones de acceso y logística (31% de los encuestados), mediante consolidación de pedidos y acopio estratégico en sitio. La Gestión de Residuos RCD, alineada con los principios de la ISO 14001, incorpora criterios de separación y disposición diferenciada que van más allá del enfoque empírico tradicional. El prototipo escolar, con estructuras metálicas prefabricadas ASTM A36, paneles sándwich y manifolds de plomería ensamblados en taller, fue validado por el 83% de los participantes como una propuesta factible y operable para las condiciones de la cuenca baja del Guayas.

El análisis financiero comparativo sobre el presupuesto real del proyecto EEB Leónidas Plaza (USD 131,239.11) confirmó rentabilidad positiva en todos los escenarios evaluados. En el escenario moderado, el modelo genera un ahorro en costos directos de USD 5,989.04 (4.6%), una reducción de desperdicios de USD 8,590, y un beneficio total de USD 14,579.04 con una inversión de implementación de apenas USD 300, lo que representa un ROI de 48.6 veces. En el escenario agresivo, el ahorro directo asciende a USD 9,796.67 (7.5%) con una reducción de plazo del 46%. El sistema de seis KPIs

propuesto (PPC, IDC, IDP, ITD, IRT, NCS) permite verificar semanalmente el cumplimiento de estas metas sin requerir software especializado.

La hipótesis general ha sido verificada en los términos proyectados. En cuanto a la magnitud y dirección de los resultados, se esperaba que la reducción de costos directos estuviera entre el 4.6% y el 7.5%, y esto se logró, se esperaba una reducción de los tiempos de entrega entre el 29% y el 46%, y esto también se logró, la reducción de residuos esperada y lograda fue de USD 15,090 a USD 6,500, y la calidad sostenible se logrará con el Manual y el Sistema de Semáforo. La verificación empírica completa aún está pendiente hasta que se lleve a cabo un proyecto piloto real con los indicadores propuestos y funcionando semanalmente.

La segunda hipótesis se verifica de forma parcial. El diagnóstico confirmó ineficiencias sistémicas importantes, con una desviación promedio de costos del 9.2% y un desperdicio de materiales del 9.8%. Sin embargo, los umbrales específicos planteados, desperdicio superior al 10% y desviaciones superiores al 15%, no se cumplen en los promedios generales, aunque sí caracterizan al 37.4% de los proyectos con mayor frecuencia de retrasos. La hipótesis es válida para el segmento más ineficiente del universo analizado, pero resulta algo conservadora como descriptor del promedio cantonal.

La tercera hipótesis se verifica. El MGL-Rural fue desarrollado con herramientas de costo máximo USD 200, sin software y pensado para profesionales con 2 a 5 años de experiencia, que es el perfil predominante en la zona. El 83% de los encuestados aceptó las metodologías visuales simplificadas y las reuniones de planificación semanal, lo que supera el umbral de alta aceptación que se planteaba y confirma tanto la factibilidad técnica del modelo como su pertinencia para el contexto de Salitre.

La cuarta hipótesis se verifica de forma parcial. En el escenario moderado, la reducción de costos directos del 4.6% queda por debajo del umbral del 8% que se planteaba, aunque al sumar la reducción de desperdicios el beneficio total sobre el presupuesto llega al 11.1%. En el escenario agresivo la reducción directa alcanza el 7.5%, todavía por debajo del 8%, aunque el beneficio total sí supera ese umbral. En cuanto al plazo, la reducción proyectada de entre 29% y 46% supera ampliamente el 12% que se había planteado como meta, lo cual es un resultado bastante sólido. En resumen, la hipótesis se cumple en tiempo y se cumple de forma condicional en costo cuando se

suman los desperdicios, pero no se verifica de manera estricta en la reducción de costos directos del escenario moderado, algo que hay que reconocer con honestidad.

El Modelo de Gestión Lean Construction Adaptado MGL-Rural es pertinente y viable para el contexto del cantón Salitre. Responde a causas raíz identificadas empíricamente en el diagnóstico de campo, se inscribe en los marcos de gestión de proyectos reconocidos internacionalmente (ISO 21502:2020, PMBOK del PMI), incorpora criterios de gestión ambiental de residuos alineados con la norma ISO 14001:2015, y funciona dentro de las restricciones tecnológicas y de capacitación reales de los actores locales. Genera rentabilidad proyectada positiva desde la primera obra y cuenta con un nivel de aceptación del 83% entre los responsables técnicos consultados. No obstante, los resultados presentados son de naturaleza proyectada y no constituyen evidencia de campo sobre el desempeño real del modelo en condiciones de obra ejecutada. Su validación plena requiere la ejecución de al menos una obra piloto monitorizada con los seis indicadores de desempeño propuestos (PPC, IDC, IDP, ITD, IRT y NCS), que constituye la línea de investigación futura inmediata derivada del presente trabajo de titulación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda al Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Salitre, en coordinación con la Coordinación Zonal 5 del Ministerio de Educación, formalizar el modelo MGL-Rural como protocolo estándar de planificación en todos los proyectos de infraestructura educativa cuyo presupuesto referencial supere los USD 50,000. Esta formalización no requiere reformas reglamentarias complejas: basta con incluir el Plan Semanal LPS y el Lookahead de 6 semanas como entregables contractuales exigibles al contratista dentro de las especificaciones técnicas del pliego de contratación. En cuanto a los objetivos medibles, el inspector verificará estos de manera semanal. Asimismo, se recomendará a la Coordinación de la Zona 5 establecer un presupuesto de línea para la planificación y gestión de la construcción de cada proyecto EEB, estimando un presupuesto de USD 250 a 500. Esto representa del 0,19 % al 0,38 % del valor total del proyecto, un porcentaje muy pequeño considerando los ahorros que puede generar. Esta línea financiará el kit de implementación física, que incluye tarjetas LPS, folletos A3 y formas de Plan Semanal y PPC, que se pueden imprimir localmente en Milagro o Guayaquil por USD 45 a USD 60 por proyecto. Si se organiza mejor desde el principio, el gasto puede ser mínimo.

También se recomienda una propuesta para construir una infraestructura educativa para el cantón Salitre. Esto es similar a la EEB Leónidas Plaza y se realizará como un proyecto piloto documentado de MGL-Rural. El objetivo es implementar el escenario moderado, en el cual se espera ahorrar USD 5,989.04, con una reducción del 29 % en el tiempo y el logro de los seis KPIs, propuestos semana a semana, durante todo el período de ejecución. Sin este proyecto piloto, el modelo sigue siendo una propuesta técnicamente fundamentada, pero no validada en condiciones reales del sitio. Ese es el paso faltante para transformar los números proyectados en evidencia empírica que justifique la propuesta a mayor escala.

Considerando la implementación del proyecto piloto en consideración, sería beneficioso incorporar, como mentores operativos para la implementación, a las seis personas del cantón que previamente han utilizado herramientas Lean, como se menciona en el diagnóstico, además del cantón. Utilizar esta experiencia local no tendrá costos adicionales y asegurará la transferencia práctica del modelo al perfil predominante de

técnicos, quienes tienen entre 2 y 5 años de experiencia y serán responsables de replicar el modelo en otros proyectos.

Se sugiere formalizar el sistema de observación longitudinal MGL-Rural con una encuesta anual de 10 preguntas que se realizará al inicio de cada período de contratación, la cual será una versión simplificada de la herramienta utilizada en este estudio. Esto permitirá monitorear la evolución de los desperdicios y las bases verificables para ajustar el modelo a los datos territoriales en lugar de los datos proyectados y, a partir de entonces, será posible ajustar las métricas de desperdicio, sobrecostos y extensiones de cronograma. Después de implementar el primer proyecto piloto y documentar sus KPIs, será pertinente evaluar si un escenario agresivo es viable con un ahorro proyectado del 7,5 % en costos y una reducción del 46 % en el cronograma para proyectos posteriores, dado que el nivel de coordinación requerido por el Last Planner System se desarrollará en la práctica. Este monitoreo también proporcionará la base para una futura tesis de maestría o investigación aplicada que evalúe el comportamiento del modelo en tres o más proyectos consecutivos en el cantón.

Sería recomendable desarrollar una comparación controlada entre el proyecto piloto ejecutado con MGL-Rural y otro proyecto de infraestructura educativa en cuanto a área construida, tipología estructural y presupuesto de referencia, realizado de manera simultánea usando métodos tradicionales, ya sea en el mismo cantón o en uno con condiciones socioeconómicas comparables en la parte baja de la cuenca del Guayas. Hacer esa comparación en paralelo permite separar el efecto real del modelo de otras variables externas que pueden distorsionar los resultados, como los cambios en los precios de materiales, las condiciones climáticas de cada temporada o la disponibilidad de mano de obra, y así obtener evidencia que se pueda atribuir directamente al MGL-Rural y no a factores del contexto. Los seis indicadores de desempeño propuestos registrados en ambas obras con la misma frecuencia semanal generarán el par de datos necesario para someter los resultados del modelo a contrastación estadística formal, elevando el nivel de evidencia del presente trabajo de investigación a un diseño cuasiexperimental con grupo de comparación.

Dado que las tres acciones de mayor impacto financiero que se identificaron en el análisis de restricciones no requieren ninguna inversión adicional, tiene mucho sentido formalizarlas como obligaciones dentro del plan de compras del contratista,

incorporándolas directamente en las especificaciones técnicas del contrato. Las tres acciones son bastante concretas y no requieren mayor complejidad para ejecutarse: primero, el pedido consolidado de acero de refuerzo para todos los bloques en la semana previa al inicio, con un ahorro estimado de entre USD 524 y USD 724 por descuento de volumen; segundo, el pedido anticipado de la estructura metálica ASTM A36 en semana cero con mínimo 10 días de anticipación al montaje, lo que elimina hasta 5 días de retraso que están valorados en USD 9,375; y tercero, el pedido consolidado de artefactos sanitarios en la semana 2 de obra, que genera un descuento estimado del 7% equivalente a USD 251, más la eliminación de tres días de espera que siempre generan problemas en campo. Son medidas simples, sin costo extra, que solo requieren planificación y disciplina para ejecutarse. Estas tres acciones, de implementación inmediata y verificación simple por el fiscalizador, producen en conjunto el mayor porcentaje del ahorro proyectado por el modelo en su escenario moderado y constituyen el punto de entrada más eficiente para contratistas que adopten el MGL-Rural por primera vez.

Se recomienda extender el modelo MGL-Rural a los cantones de la cuenca baja del Guayas con condiciones socioeconómicas y logísticas similares a Salitre Palestina, Colimes, Lomas de Sargentillo y Nobol utilizando a los fiscalizadores participantes en este estudio como facilitadores del proceso de adopción, dado que constituyen el perfil con mayor conocimiento aplicado del instrumento diagnóstico y representan un recurso de transferencia disponible sin costo adicional. Esta expansión deberá estar precedida por la validación empírica de la obra piloto en Salitre, de modo que el modelo transferido incorpore los ajustes derivados de los KPIs reales de campo y no únicamente los parámetros proyectados del análisis financiero comparativo. Se recomienda asimismo que el manual de mantenimiento preventivo con sistema semáforo sea entregado formalmente al director de cada institución educativa en el acto de entrega-recepción de la obra, junto con el informe fotográfico de estado de cada elemento constructivo, práctica que la experiencia de Colombia y Perú documenta como reductora de entre un 40% y un 60% de los costos de rehabilitación a cinco años plazo.

REFERENCIAS

- Abdullahi, C. M., & Tembo, M. (2023). Improving the efficiency and effectiveness of construction project planning and scheduling using lean principles. *International Journal of Construction Engineering and Management*, 12(3), 75–80.
<https://doi.org/10.5923/j.ijcem.20231203.01>
- Adhi, A. B., Wirahadikusumah, R. D., & Rachmawati, T. S. N. (2023). Development of stakeholder engagement strategies to improve sustainable construction implementation based on Lean Construction principles in Indonesia. *Sustainability*, 15(7), 6053.
<https://doi.org/10.3390/su15076053>
- Al Hattab, M., Khalife, S., & El Samad, G. (2023). Last Planner System framework to assess planning reliability in architectural design. *Buildings*, 13(11), 2684.
<https://doi.org/10.3390/buildings13112684>
- Aravindh, M. D., Nakkeeran, G., Krishnaraj, L., & Rajesh, A. (2022). Evaluation and optimization of lean waste in construction industry. *Asian Journal of Civil Engineering*, 23, 741–752. <https://doi.org/10.1007/s42107-022-00453-9>
- Aslam, M., Gao, Z., & Smith, G. (2020). Framework for selection of lean construction tools based on lean objectives and functionalities. *International Journal of Construction Management*, 22(6), 1–12. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1729933>
- Bajjou, M. S., & Chafi, A. (2020). Identifying and managing critical waste factors for lean construction projects. *Engineering Management Journal*, 32(1), 2–13.
<https://doi.org/10.1080/10429247.2019.1656479>
- ★ Ballard, G., & Tommelein, I. (2021). 2020 current process benchmark for the Last Planner® System of project planning and control. *Lean Construction Journal*, 2021, 53–155.
<https://leanconstruction.org/lean-construction-journal/doi-info-2021-53-155/>
- Ballard, G., Vaagen, H., Kay, W., Stevens, B., & Pereira, M. (2020). Extending the Last Planner System® to the entire project. *Lean Construction Journal*, 2020, 42–77.
<https://leanconstruction.org/resources/lean-construction-journal/2020-issue/>

- Bravo, M., & Caiza, R. (2022). Metodología Lean Construction aplicada a la planificación de proyectos de urbanización y soluciones habitacionales: caso de estudio. *MQRInvestigar*, 7(4), 2164–2197. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.4.2023.2164-2197>
- Christian, D., & Pereira, M. (2020). The new LPS® metrics: What they are, why they are needed and where they are used. *Lean Construction Journal*, 2020, 119–140. <https://leanconstruction.org/resources/lean-construction-journal/2020-issue/>
- Dallasega, P., Rauch, E., & Linder, C. (2022). Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 141, 103712. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103712>
- Ershadi, M., Jefferies, M., Davis, P., & Mojtahedi, M. (2021). Achieving sustainable construction project delivery via implementing Last Planner System. *International Journal of Construction Management*, 23(11), 1940–1952. <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1988131>
- Evans, M., & Farrell, P. (2023). A strategic framework managing challenges of integrating lean construction and integrated project delivery on construction megaprojects. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 21(2), 376–416. <https://doi.org/10.1108/JEDT-03-2021-0163>
- Garcés, P., Morales, D., & Velasco, R. (2025). Implementación del Last Planner System en proyectos de infraestructura educativa rural en la costa ecuatoriana. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Civil*, 12(1), 45–67.
- González, M., Alarcón, L. F., & Mundaca, F. (2022). Last Planner System and its impact on project performance: A systematic literature review. *Journal of Civil Engineering and Management*, 28(4), 247–262. <https://doi.org/10.3846/jcem.2022.16514>
- Ibrahim, A., Sherrif, A., & Meshref, A. N. (2025). Assessment of Lean Construction practices in developing countries using fuzzy relative importance index. *Engineering Management Journal*. <https://doi.org/10.1080/10429247.2025.2536551>
- Jørgensen, B. P., & Emmitt, S. (2022). Sustainability and lean construction: Challenges and opportunities. *Construction Management and Economics*, 40(8), 679–693. <https://doi.org/10.1080/01446193.2022.2074016>

- Kara, P., Bhattacharjee, A., & Bhattacharjee, B. (2021). Application of lean construction and last planner system in metro station construction. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A*, 102, 1049–1064. <https://doi.org/10.1007/s40030-021-00567-0>
- Lerche, J., Lorentzen, S., Enevoldsen, P., & Neve, H. H. (2022). The impact of COVID-19 on offshore wind project productivity: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112188. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112188>
- Li, J., Greenwood, D., & Kassem, M. (2022). Blockchain in the construction sector: A sociotechnical systems framework for understanding properties, roles and implementation challenges. *Automation in Construction*, 134, 104049. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104049>
- Liang, X. (2025). Integration of Lean Construction and Takt Time planning for repetitive building projects: A systematic review. *Journal of Construction Engineering and Management*, 151(3), 04025010. <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-14821>
- Limaylla, R. (2024). Aplicación del Last Planner System en la gestión de proyectos de infraestructura pública en contextos rurales de América Latina. *Revista de Ingeniería y Construcción*, 39(2), 112–130. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732024000200112>
- Mejía, G., Sánchez, O., & Pellicer, E. (2021). Exploring the relationship between Lean Construction and Building Information Modelling in Latin American projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(10), 04021101. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002145](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002145)
- Ministerio de Educación del Ecuador. (2023). Plan institucional de infraestructura educativa 2023–2027. MinEduc. <https://educacion.gob.ec/plan-infraestructura/>
- Ministerio de Educación del Ecuador. (2024). Estándares de construcción escolar para zonas rurales costeras. MinEduc – SENESCYT.
- Morales, J., Torres, F., & Guerrero, M. (2022). Diagnóstico de ineficiencias en la construcción de infraestructura educativa pública en Ecuador: análisis de desviaciones de costo y plazo. *Maskana*, 13(1), 21–36. <https://doi.org/10.18537/mskn.13.01.03>
- Mounla, H. (2025). Advances in Last Planner System implementation: Barriers, enablers, and digital integration. *Lean Construction Journal*, 2025, 1–22. <https://doi.org/10.60164/lcj2025001>

- Mounla, H., Hamani, K., & Khoury, H. (2023). Lean Construction in the UAE: Implementation of Last Planner System®. *Lean Construction Journal*, 2023, 1–20. <https://leanconstruction.org/resources/lean-construction-journal/>
- Nakagawa, M. A., & Alarcón, L. F. (2022). Takt Time planning in residential construction: Benefits and implementation challenges. *Lean Construction Journal*, 2022, 24–40. <https://leanconstruction.org/resources/lean-construction-journal/>
- Nsengimana, M. A., & Ugwu, G. A. (2024). Evaluation of lean construction practices for improving construction project delivery: Case study of Bushenyi District, Uganda. *Cogent Engineering*, 11(1), 2365902. <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2365902>
- Ogunbiyi, O., Oladinrin, O. T., & Adedoyin, R. A. (2020). Assessment of lean construction practice on Nigerian construction project sites. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(9), 2475–2493. <https://doi.org/10.1108/ECAM-10-2019-0569>
- Pellegrini, L., Monfardini, G., & Pinelli, M. (2023). Revisiting the concept of waste and its causes in construction from analytical and conceptual perspectives. *Construction Management and Economics*, 41(8), 621–633. <https://doi.org/10.1080/01446193.2023.2189278>
- Peña, C. (2023). Last Planner System en proyectos de construcción pública: Barreras, facilitadores y resultados en el contexto latinoamericano [Tesis de maestría, Universidad de Chile].
- Picchi, F. A., & Granja, A. D. (2021). Construction sites: Using lean principles to seek broader implementations. *Proceedings of the 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. <https://doi.org/10.24928/2021/0258>
- Power, W., Sinnott, D., & Lynch, P. (2024). Synthesizing Last Planner® System, Takt, and Scrum theory and practice to enhance construction project delivery. *Lean Construction Journal*, 2024, 16–28. <https://doi.org/10.60164/3xymkr1ws>
- Rashidian, S., Drogemuller, R., & Omrani, S. (2022). Exploring the integration of Lean Construction, BIM, and Integrated Project Delivery (IPD) in complex construction projects. *Smart and Sustainable Built Environment*, 13(1), 158–180. <https://doi.org/10.1108/SASBE-07-2021-0119>

- Rashidian, S., Drogemuller, R., & Omrani, S. (2024). Maturity model for the integration of BIM, IPD, and Lean Construction: Systematic literature review and thematic analysis. *Smart and Sustainable Built Environment*, 13(1), 473–490.
<https://doi.org/10.1108/SASBE-07-2022-0150>
- Rodríguez, A., Alarcón, L. F., & Pellicer, E. (2023). Implementación del Last Planner System en proyectos de infraestructura pública en Chile: lecciones aprendidas. *Revista de la Construcción*, 22(1), 124–139. <https://doi.org/10.7764/rdlc.22.1.124>
- Rojas, M. J., & Garzón, D. (2022). Lean Construction en proyectos de vivienda de interés social en Colombia: análisis de productividad y desperdicios. *Ingeniería y Universidad*, 26, e3445. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu26.lcpv>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Salitre 2021–2031. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Salitre. <https://salitre.gob.ec/plan-de-desarrollo/>
- Solaimani, S., & Sedighi, M. (2020). Toward a holistic view on lean sustainable construction: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119213.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119213>
- Torres-Machi, C., Nasir, F., Achebe, J., Saari, R., & Tighe, S. L. (2021). Sustainability evaluation of pavement technologies through multicriteria decision techniques. *Journal of Infrastructure Systems*, 27(1), 04020048. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000563](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000563)
- Vázquez-Rowe, I., Villanueva-Rey, P., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2021). Environmental performance of construction waste management in Latin America: A case study in Ecuador. *Waste Management*, 136, 290–302.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.10.012>
- Vilutienė, T., Ignatavičius, Č., & Šarka, V. (2020). Evaluating the suitability of Last Planner® System for managing construction projects in Eastern Europe. *Technological and Economic Development of Economy*, 26(5), 1150–1175.
<https://doi.org/10.3846/tede.2020.13083>
- Waqar, A., Othman, I., Shafiq, N., & Mansoor, M. S. (2023). Exploring the integration of lean in green building: Drivers and barriers in developing countries. *Buildings*, 13(2), 459.
<https://doi.org/10.3390/buildings13020459>

- Warid, O., & Hamani, K. (2023). Lean Construction in the UAE: Implementation of Last Planner System®. *Lean Construction Journal*, 2023, 1–20.
<https://leanconstruction.org/resources/lean-construction-journal/>
- Watfa, M., & Sawalha, M. (2021). Critical success factors for Lean Construction: An empirical study in the UAE. *Lean Construction Journal*, 2021, 1–17.
<https://leanconstruction.org/resources/lean-construction-journal/>
- Wilkinson, B., Lowe, T., & Pereira, M. (2020). Learning from breakdowns in the Last Planner System®. *Lean Construction Journal*, 2020, 141–153.
<https://leanconstruction.org/resources/lean-construction-journal/2020-issue/>
- Xu, Y., Zheng, S., & Deng, X. (2023). Barriers to lean construction in developing economies: A systematic review and framework. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(10), 4503–4528. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2022-0421>
- Yang, Z. (2025). Digital tools and Last Planner System: Enhancing planning reliability in construction projects through mobile technology. *Automation in Construction*, 162, 105380. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.105380>

ANEXOS

Anexo 1. Instrumento de encuesta aplicado a responsables técnicos del cantón Salitre (Google Forms). Este instrumento fue utilizado para el diagnóstico de ineficiencias descrito en la sección 3.2 y validado por expertos según lo indicado en la sección 2.5.

Encuesta sobre eficiencia en construcción de escuelas rurales - Salitre

La presente encuesta tiene como objetivo diagnosticar las ineficiencias actuales en la construcción de escuelas rurales en Salitre y evaluar la viabilidad de implementar metodologías como BIM y Lean Construction.

Sus respuestas serán anónimas y de gran valor para la investigación.

*** Indica que la pregunta es obligatoria**

Cargo/rol en los proyectos *

Ingeniero residente

Supervisor de obra

Técnico de campo

Gestor de proyectos

Otro: _____

Años de experiencia en construcción rural *

Menos de 2 años

2-5 años

5-10 años

Otro: _____

Número de proyectos de escuelas rurales en los que ha participado en Salitre u otros lugares del país, en la opción otros ubicar la ciudad o cantón. (últimos 5 años) *

1-2 proyectos

3-5 proyectos

Otro: _____

DIAGNÓSTICO DE INEFICIENCIAS ACTUALES

En una escala del 1 al 5, donde 1 = Muy bajo y 5 = Muy alto, evalúe la frecuencia de las siguientes situaciones:

¿Con qué frecuencia se presentan retrasos en los cronogramas de obra? *

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muy alto

¿Qué nivel de desperdicio de materiales observa comúnmente en obra? *

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muy alto

¿Cómo calificaría la coordinación entre los diferentes oficios en obra? *

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muy alto

INDICADORES CUANTITATIVOS ESTIMADOS

Según su experiencia profesional

¿Qué porcentaje aproximado de materiales se desperdicia normalmente en una obra escolar rural? *

- Menos del 5%
- 5-10%
- 11-15%
- 16-20%
- Más del 20%

¿Cuál es la desviación promedio que observa entre el costo presupuestado y el costo real? *

- Menos del 5%
- 5-10%
- 11-15%
- 16-20%
- Más del 20%
- No he calculado

¿Cuánto suele extenderse el tiempo de obra respecto al cronograma inicial? *

- Menos del 10%
- 10-20%
- 21-30%
- 31-40%
- Más del 40%

CONOCIMIENTO Y PERCEPCIÓN SOBRE LEAN

¿Conoce la filosofía Lean Construction? *

- Sí, la he utilizado
- Sí, pero no la he aplicado
- He escuchado de ella
- No la conozco

Si conoce Lean, ¿qué beneficios cree que podrían traer a proyectos rurales? *

- Reducción de costos
- Mejor control de tiempos
- Menos desperdicios
- Mejor coordinación
- No sé/No aplica

¿Qué barreras cree que impedirían aplicar Lean en Salitre? (Seleccione hasta 3) *

- Falta de capacitación
- Limitaciones tecnológicas
- Resistencia al cambio
- Costo de implementación
- Falta de apoyo institucional
- Otro: _____

FACTORES DE MEJORA Y ACEPTACIÓN

Estaría dispuesto a aprender nuevas metodologías de gestión de construcción *

1 2 3 4 5
Muy en desacuerdo Muy de acuerdo

Un modelo visual simplificado (planos 3D fáciles de entender) ayudaría en la coordinación *

1 2 3 4 5
Muy en desacuerdo Muy de acuerdo

Las reuniones de planificación semanal mejorarían la productividad *

1 2 3 4 5
Muy desacuerdo Muy de acuerdo

Un sistema de gestión de residuos organizado reduciría el impacto ambiental *

1 2 3 4 5
Muy desacuerdo Muy de acuerdo

PREGUNTAS ABIERTAS (OPCIONALES)

Desde su experiencia, ¿cuál cree que es la principal causa de los retrasos en obras escolares rurales?

Tu respuesta _____

¿Qué sugerencia daría para mejorar la eficiencia en la construcción de escuelas en Salitre?

Tu respuesta _____

Anexo 2. Registro fotográfico de obras en escuelas rurales del cantón Salitre. Las imágenes documentan las condiciones constructivas observadas durante el diagnóstico de campo y sirven de evidencia visual de las ineficiencias identificadas en la sección 3.2 del presente estudio.



Anexo 3. Tabla de Restricciones Críticas del Modelo MGL- Rural

La siguiente tabla presenta el análisis completo de las 11 restricciones críticas identificadas en el proyecto EEB Leónidas Plaza. Para cada restricción se detalla la partida presupuestaria afectada, el costo en riesgo (USD), los días de plazo comprometidos y la solución Lean específica recomendada. Esta tabla complementa el resumen presentado en la sección 3.12.7 del cuerpo principal del informe.

Tabla A3

Restricciones Críticas Identificadas — Proyecto EEB Leónidas Plaza

C O D.	RESTRICCIÓN	COSTO EN RIESGO	DÍAS EN RIESG O	SOLUCIÓN LEAN
R- 01	Estructura metálica ASTM A36: lead time 10 días. Si no se pide en semana 1, bloquea toda la secuencia B1/B2/B3/B4.	USD 15,232	+5	Pedir fabricación en semana 0. Consolidar B1+B2+B3+B4 en un pedido: descuento 5-8%.
R- 02	Acero de refuerzo: 7,000+ kg. Pedido fragmentado = múltiples fletes rurales = costo triplicado y esperas.	USD 13,003	+3	Un pedido consolidado semana 0. Acopio elevado en sitio. Negociar con 3 proveedores Milagro/Guayaquil.
R- 03	Ventanas aluminio: lead time fabricación 7 días. Retrasa cierre de fachada y pintura exterior.	USD 5,192	+4	Visita del aluminero semana 4. Pago 50% adelantado para prioridad de fabricación.

C O D.	RESTRICCIÓN	COSTO EN RIESGO	DÍAS EN RIESG O	SOLUCIÓN LEAN
R- 04	Hormigón premezclado: mixer puede no acceder a zona rural. Colada fallida = retrabajo total.	USD 9,189	+2	Verificar ruta acceso 5 días antes. Tener betonera como respaldo. Coordinar 2 mixers el mismo día.
R- 05	Artefactos sanitarios: 12 inodoros + 8 urinarios. Pedido tardío bloquea pruebas hidráulicas finales.	USD 3,587	+3	Pedido consolidado semana 2. Un proveedor. Descuento 7% por volumen. Entrega semana 7.
R- 06	Cerámica en BBSS: si impermeabilización no cura 24h antes, retrabajo total de cerámica.	USD 5,424	+2	Prueba de agua de 24 horas obligatoria entre impermeabilización y colocación de cerámica. Inspector presente.
R- 07	Instalaciones eléctricas: si se colocan después del enlucido, hay que picar paredes = retrabajo costoso.	USD 3,253	+3	REGLA ABSOLUTA: conduit colocado ANTES del enlucido. Checklist diario en tablero LPS.
R- 08	Bloques mampostera: voluminosos y pesados, requieren transbordo en zona rural. Retraso = cuadrilla parada.	USD 9,678	+2	Pedir bloques semana 1. Confirmar transporte. Acopio junto al frente, no en bodega central.

C O D.	RESTRICCIÓN	COSTO EN RIESGO	DÍAS EN RIESG O	SOLUCIÓN LEAN
R-09	Biodigestor séptico: excavación requiere maquinaria. Si se hace tarde, no hay acceso con equipo.	USD 2,782	+2	Excavar pozo simultáneamente con cimientos de BBSS. Misma cuadrilla, un solo movimiento de maquinaria.
R-10	Pintura exterior: en Salitre (dic-abril) riesgo de lluvia en primeras 24h tras aplicación.	USD 1,462	+1	Verificar pronóstico 48h antes. Programar en temporada seca (jun-nov). Imprimante para acelerar secado.
R-11	Juegos infantiles: lead time proveedor 5-7 días. Pedido tardío retrasa entrega del área exterior.	USD 4,415	+1	Pedir en semana 7 cuando aulas están en acabados. Confirmar dirección de entrega y acceso.

Nota: Elaboración propia. Las restricciones R-01, R-02 y R-08 concentran el 62% del plazo total en riesgo (25 de 29 días acumulados).