



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL.**

**APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS PARA ACTIVIDADES
DE RIEGO EN UNA PLANTA DE FERTILIZANTES.**

Trabajo de Titulación que se presenta como requisito previo a la presentación del Trabajo de Titulación Definitivo para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

Autor: Diana Andrade Rhor.

Tutor: Ing. Mario García.

**Samborondón,
Marzo 2015.**

A mis padres, por su apoyo, paciencia y ejemplo de superación.

Gracias a la industria Crystal Chemical, a la empresa constructora Emdeco S.A. y en particular a los ingenieros Mario García y Alex Villacres por su ayuda y conocimientos ofrecidos.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo analizar la factibilidad ambiental y económica de la utilización de aguas lluvias para el riego de áreas verdes; para tal efecto se ha considerado como caso de estudio el proyecto desarrollado por la industria de fertilizantes Crystal Chemical, quienes con el fin de reducir el consumo de agua potable se han planteado sustituirla por agua lluvia en actividades de riego de jardines.

La compañía a cargo del proyecto, Crystal Chemical, se ha propuesto como parte de sus objetivos contar con una nueva planta con los más altos estándares, principalmente construir edificios sostenibles, mitigando y reduciendo al máximo el impacto de sus procesos.

El agua lluvia se recolectaría, procurando almacenarla para su uso en meses posteriores cuando no se cuente con este recurso. La idea es implementar el sistema desde la concepción misma del proyecto.

Es por esto que se introduce un sistema para recolectar, almacenar y utilizar el agua lluvia, que se basa en el diseño hidro-sanitario propuesto para el sistema de aguas lluvias, con la inclusión de una laguna de almacenamiento. Y manteniendo lo establecido en el diseño de ingenierías del sistema de riego.

Hay dos aspectos importantes a considerar, la evaluación económica y la ambiental. Por un lado el costo de la planilla de agua potable se reduciría sustancialmente al disminuir el consumo, sustituyéndola por el agua lluvia recolectada. Considerando que en el entorno del proyecto el abastecimiento es a través de tanqueros, el sistema de aprovechamiento de agua lluvia resulta ser una alternativa atractiva. Los resultados indican que el VAN es mayor que

cero, por tanto el proyecto generará ganancias. La TIR está alrededor del 20%, el coeficiente beneficio-costo es un valor mayor que 1 lo cual nos indica que el proyecto es beneficioso. Y finalmente que el periodo de recuperación de la inversión inicial es de 4 años.

En el campo ambiental se reduce el uso de agua potable, por ende el uso de tanqueros. Esto significa un impacto positivo al uso de agua lluvia; los resultados muestran un ahorro mensual de 566,10m³/mes. Y los indicadores ambientales nos permiten demostrar que con este ahorro se puede abastecer al consumo equivalente al de 87 personas durante un mes.

El sistema de manejo del agua lluvia es bastante sencillo, consiste en tres conceptos básicos. El agua se capta en las cubiertas y pavimentos, se recolecta y conduce por canaletas y tubería, para posteriormente almacenarse. Una vez que el agua se encuentra almacenada se maneja por bombeo hasta los puntos en los que se va a requerir.

Para el caso se propone una laguna de una superficie de 1785,00m² capaz de almacenar hasta 4500m³, volumen necesario para bastecer de agua para riego al proyecto durante un periodo de 8 meses.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	7
INDICE GENERAL.....	9
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	14
INDICE DE TABLAS.....	15
1. CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	16
1.1. Planteamiento del Problema.....	16
1.2. Formulación del Problema.....	19
1.3. Sistematización del problema.....	19
1.4. Objetivos de la investigación.....	20
1.4.1. Objetivo General.....	20
1.4.2. Objetivos Específicos.....	20
1.5. Justificación.....	21
2. CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....	22
2.1. El recurso agua.....	22
2.1.1. Generalidades.....	22
2.1.2. Características del agua.....	22
2.1.3. Tipos de agua.....	22
2.1.4. El agua lluvia.....	24
2.1.4.1. Usos del agua de lluvia.....	24
2.1.4.2. Tendencias en aprovechamiento de agua lluvia.....	25
2.2. Diseño de manejo de AALL.....	26
2.2.1. Generalidades.....	26

2.2.2.	Teoría de drenaje pluvial	27
2.2.2.1.	Formulación - Adaptación del método racional para aguas lluvias	27
2.2.2.2.	Coefficiente de escurrimiento	28
2.2.2.3.	Área	31
2.2.2.4.	Intensidad de lluvia	31
2.2.2.4.1.	Generalidades	31
2.2.2.4.2.	Formulación - Cálculo	31
2.2.2.4.3.	Periodo de Retorno	32
2.2.2.4.3.1.	Tiempo de concentración	32
2.2.2.5.	Altura – Precipitación media	33
2.3.	Componentes del Sistema	34
2.3.1.	Captación	34
2.3.2.	Recolección y conducción	35
2.3.3.	Almacenamiento	36
2.3.4.	Red de distribución y sistema de bombeo	36
2.4.	Evaluación Ambiental del proyecto	36
2.4.1.	Generalidades	36
2.4.2.	Beneficios ambientales por aprovechamiento de AALL	37
2.4.3.	Indicadores Ambientales	37
2.4.3.1.	Consumo mensual de agua potable	38
2.4.3.2.	Costo de suministro mensual de agua potable	38
2.4.3.3.	Huella hídrica	38
2.5.	Evaluación económica del proyecto	38
2.5.1.	Valor Actual Neto VAN	39

2.5.2.	Tasa Interna de Retorno TIR	40
2.5.3.	Coeficiente beneficio-costo.....	40
2.5.4.	Periodo de recuperación.....	40
2.6.	Sistema de hipótesis	41
2.7.	Definiciones conceptuales	41
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	43
3.1.	Diseño de la Investigación	43
3.2.	Población	44
3.3.	Instrumentos de recolección de datos.....	44
3.4.	Metodología	45
3.4.1.	Metodología Diseño.....	45
3.4.2.	Metodología Costo – Beneficio	46
3.4.3.	Metodología Beneficio Ambiental	47
3.5.	Técnicas de Investigación y pasos a utilizar.	48
4.	CAPÍTULO IV: DESCRIPCION DEL CASO DE ESTUDIO	49
4.1.	Ubicación del Proyecto.	49
4.2.	Descripción del entorno.	50
4.2.1.	Medio Físico.	50
4.2.2.	Medio Biótico.	50
4.2.3.	Medio Cultural- Socioeconómico.	51
4.3.	Descripción del proyecto.....	51
4.4.	Sistemas Hidro-sanitarios.	52
4.4.1.	Agua Potable AAPP.....	52
4.4.2.	Aguas Servidas AASS	53

4.4.3.	Agua Lluvia AALL	54
5.	CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	56
5.1.	Generalidades.....	56
5.2.	Método Racional	56
5.2.1.	Área de Captación del agua de lluvia	56
5.2.2.	Coeficiente de escurrimiento	58
5.2.3.	Intensidad de lluvia	59
5.2.4.	Caudal Q.....	59
5.2.5.	Adaptación del Método Racional al Drenaje Pluvial	60
5.3.	Riego.....	61
5.3.1.	Área Verde.....	61
5.3.2.	Dotación y requerimientos	62
5.4.	Almacenamiento	62
5.4.1.	Ubicación del Sistema de Aprovechamiento de agua lluvia en la planta Crystal Chemical.....	65
5.5.	Evaluación Económica.....	66
5.5.1.	Inversión Inicial – Presupuesto referencial	66
5.5.2.	Suministro AAPP	67
5.5.3.	Indicadores Económicos.....	68
5.5.4.	Valor Actual Neto.....	71
5.5.5.	Tasa Interna de Retorno.....	71
5.5.6.	Periodo de Recuperación	72
5.5.7.	Coeficiente Beneficio- Costo.....	73
5.5.8.	Resultados Evaluación Económica.....	73

5.6. Evaluación Ambiental.....	74
5.6.1. Potencial del Ahorro del Agua Potable	74
5.6.1.1. Consumo mensual de agua potable	74
5.6.1.2. Costo de suministro mensual de agua potable.....	75
5.6.2. Huella hídrica.....	75
6. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
6.1. Conclusiones.....	77
6.2. Recomendaciones.	78
BIBLIOGRAFÍA.....	79
ANEXOS.....	83

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Tipos de canaletas para recolección de agua lluvia	35
Ilustración 2 Ubicación del Proyecto	49
Ilustración 3. Implantación - Áreas de captación	57
Ilustración 4. Implantación Arquitectónica - Área Verde	61
Ilustración 5 Empleo de Geo sistemas en Sistema de Captación de Agua Pluvial	64
Ilustración 6 Lagunas de Almacenamiento del Municipio de Contralmirante Villar en Acapulco – México	64
Ilustración 7. Planta de Ubicación Laguna de Almacenamiento	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores medio del Coeficiente de Escorrentía	29
Tabla 2 Coeficiente de Escurrimiento C.....	30
Tabla 3 Valor Actual Neto (VAN) - Interpretación	39
Tabla 4 Consumo Total diario de Agua Potable.....	53
Tabla 5 Componente de la Fórmula para determinación de Caudal Q	56
Tabla 6 Áreas de Captación	58
Tabla 7 Coeficiente de Escurrimiento	59
Tabla 8. Intensidad de Lluvia	59
Tabla 9. Caudal Q.....	60
Tabla 10. Adaptación del Método Racional al Drenaje Pluvial.....	60
Tabla 11. Áreas Verdes	61
Tabla 12. Riego - Dotación y Requerimientos.....	62
Tabla 13. Volumen Almacenamiento - Cálculo	63
Tabla 14. Tiempo de llenado.....	65
Tabla 15. Presupuesto Referencial.....	67
Tabla 16. Suministro de Agua Potable.....	68
Tabla 17. Egresos.....	69
Tabla 18. Ingresos - Egresos.....	70
Tabla 19. Diferencia Ingresos-Egresos.....	70
Tabla 20. Valor Actual Neto - VAN.....	71
Tabla 21. Tasa Interna de Retorno - TIR	72
Tabla 22. Periodo de Recuperación.....	73
Tabla 23. Indicadores Económicos	74

1. CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema.

“Vivimos en un planeta cuyas tres cuartas partes están cubiertas de agua, de todo esto sólo el 2,79% corresponde a agua dulce, concentrándose más del 90% de la misma en los casquetes polares, glaciares y masas de hielo” (Uribe Celis & Amaya Sierra, 2007). El hecho de que se tenga exclusivamente un pequeño valor en condiciones aptas para ser utilizada por los seres vivos es lo que la convierte en un recurso tan importante.

Los seres humanos necesitan agua para vivir, pero una variedad de factores y la propia actividad humana alteran el manejo adecuado de este recurso. La población mundial crece, el cambio climático produce alteraciones en el medio y la contaminación complica el desarrollo sostenible.

Existe un desequilibrio claramente observable entre el volumen de agua dulce disponible y la demanda de la misma, lo que genera una escasez de agua y mayor competencia entre usuarios. Si bien es cierto que el Ecuador es un país favorecido con una infinidad de recursos naturales, y que aún no se ha catalogado con graves problemas en el ámbito ambiental, es importante ir considerando alternativas para un futuro no muy lejano.

El aprovechamiento del agua lluvia emplea técnicas que datan de tiempos de la colonia, siendo utilizada para actividades como la agricultura. En ese entonces, se construían camellones y aljibes para recolectar y almacenar el agua procedente de la lluvia. Aún en la actualidad, en muchos países del

mundo, se practica la recolección de aguas lluvias y hay casos en que esta es la única fuente de agua potable.

“En países como los Estados Unidos y Australia la captación de agua lluvia se aplica principalmente para abastecer de agua a la ganadería y al consumo doméstico” (Soluciones Hidropluviales, 2013)

Uno de los principales motivos que debería impulsar el desarrollo de nuevas técnicas para aprovechar las aguas pluviales debería estar coligado con motivos económicos y de gestión ambiental, la idea es reemplazar el uso de agua potable en situaciones donde no es necesario emplearla. Por ejemplo, se podría sustituir su uso en actividades como el riego de áreas verdes, lavandería, limpieza de pavimentos y abastecimiento de tanques en inodoros.

El agua de lluvia en nuestro medio es desperdiciada y no se reutiliza. Dándole un mejor uso en ciertas actividades se contribuiría a erradicar el mal uso del servicio de agua potable. Si se revisa los listados de indicadores ambientales del Ministerio del Ambiente y el Sistema Único de Información Ambiental del Ecuador se comprueba que no existe un proyecto destinado a manejar el recurso agua lluvia.

“En el sector industrial se está generando un cambio de enfoque hacia la gestión del agua de lluvia. Si antes los escurrimientos pluviales eran vistos como un problema que afectaba la producción en la planta, debido a las infiltraciones en techos y los encharcamientos en vialidades; ahora se está viendo como un recurso que se puede aprovechar y reutilizar para bajar el consumo de agua en algunos procesos industriales o incluso para su

potabilización y reutilización en todos los servicios.” (Soluciones Hidropluviales, 2013)

En el Ecuador es prácticamente nulo el uso que se le da al agua lluvia. Desde que se empezaron a construir las canalizaciones de agua potable para uso doméstico, el agua lluvia paso a un segundo plano y a ser principalmente un motivo de molestia para la sociedad. Pero tenemos que ser conscientes de que la demanda de agua está creciendo cada vez más y en estos casos es necesario buscar alternativas para aprovechar recursos que hemos dejado a un lado, como el agua de lluvia.

Lo que la mayoría de personas desconocen es la cantidad de ventajas que tiene el uso de agua pluvial. Siendo un agua relativamente limpia si la comparamos con las otras fuentes de agua dulce disponibles, y en cuanto al sistema accedemos a un recurso gratuito de una manera bastante sencilla.

En provincias de la región costa, como es Guayas, el agua lluvia podría captarse en determinados meses y almacenarse para utilizarse en meses posteriores a la época de lluvias.

Hace no muchos años atrás creíamos que el agua no se agotaría nunca, y la hemos consumido de manera impresionante, sin controles (se calcula que el consumo medio diario por persona es de unos 300litros) (Mesanza, 2011). La población mundial sigue creciendo pero las fuentes de agua dulce siguen siendo las mismas. Tenemos el agua lluvia a nuestra mano y totalmente gratuita, la idea es aprovecharla.

1.2. Formulación del Problema.

La problemática más evidente con respecto al recurso agua es su inadecuado uso. Actualmente aún se piensa que el agua es un recurso renovable e ilimitado, pero esta es una errónea interpretación del ciclo hidrológico, pues aunque el agua, siguiendo su ciclo se encuentre dentro de la Tierra en una misma cantidad, se descarta de esta teoría la calidad del recurso.

El agua lluvia en nuestro país no está siendo aprovechada, y se está mal-empleando el agua potable en actividades que no lo merecen. Que el agua sea potable significa que es agua apta para el consumo, no se debería malgastar esta agua para actividades que no corresponde al consumo humano como tal, ejemplos prácticos son el riego, lavado y suministro de tanques de inodoros.

1.3. Sistematización del problema.

- ¿De qué manera se podría dar un mejor uso a las aguas lluvias, si se sabe que es un recurso más que genera el medio ambiente para consumo Humano?
- ¿Cómo lograr el ahorro del agua mediante la recirculación de aguas lluvias?
- ¿Qué beneficios se obtienen de almacenar y utilizar el agua de lluvia en el proyecto seleccionado?
- ¿En qué consistiría el sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias para la planta Crystal Chemical?
- ¿Cuál es la relación entre área de cubierta y volumen para almacenamiento?

- ¿Existe una relación costo-beneficio al implementar un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Proponer un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa del uso de agua potable para actividades que no lo ameriten, presentándolo como una opción de ahorro de agua, disminución de gastos e introduciendo la conciencia ecológica respecto al uso de un recurso, en la planta de fertilizantes y herbicidas de la empresa Crystal Chemical localizada en el km9 de la Vía Duran- Tambo en la provincia del Guayas.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un sistema que permita utilizar el agua de lluvia como una alternativa para actividades que no requieren agua potable.
- Presentar una aproximación de la relación costo-beneficio en la implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en el proyecto seleccionado.
- Evaluar los posibles beneficios que representaría el ahorro de agua potable, reemplazándola por aguas lluvias.

1.5. Justificación

Actualmente la humanidad enfrenta problemas en varios ámbitos. Uno de ellos y bastante conocido es el deterioro de los recursos naturales considerados hasta hace poco, como renovables e ilimitados. El más importante de ellos probablemente sea el agua, que recurso indispensable para la vida, teniendo el recurso gratuito en forma de lluvia convendríamos en utilizar el agua pluvial como alternativa del suministro de agua potable para diversos usos, generando un concepto de industria sostenible.

El reciclar el agua lluvia es una práctica interesante, tanto ambiental como económicamente hablando. Si tomamos en cuenta los volúmenes de agua potable que se emplean en una fábrica o industria y el costo que su uso implica, es fácil darse cuenta que una medida como esta sería una apropiada alternativa.

El proyecto Crystal Chemical presenta la ingeniería conceptual de una propuesta de diseño de un sistema de aprovechamiento del agua pluvial como alternativa para el ahorro de agua potable en usos como riego de áreas verdes, lavado de zonas comunes, entre otros. Se necesita adicionalmente presentar un análisis de la viabilidad técnica y económica de dicho sistema en una industria de fertilizantes.

Otros estudios, en países con condiciones climatológicas menos favorables, sugieren que el empleo de agua lluvia es una opción técnicamente viable, con una inversión inicial alta, pero que presenta una solución interesante para contribuir al desarrollo sostenible de la empresa.

2. CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1. El recurso agua

2.1.1. Generalidades

“A nivel industrial son pocos los ejemplos que ilustran la práctica de utilización de aguas lluvias para actividades que no incluyen el consumo humano. En Colombia se ha implementado ya esta tecnología en un proyecto de supermercados ubicados en la ciudad de Bogotá, donde se aprovechan 6000m² de cubierta para captar alrededor de 4820m³ de agua lluvia al año, con lo que se logra cubrir un 75% de la demanda de la edificación” (Palacio Castaneda, 2010). Ejemplos como este demuestran que es viable utilizar estas técnicas en nuestro medio, sobre todo porque se realizan en países vecinos.

“El fondo de población de Naciones Unidas asegura que si el consumo de los países de más bajos recursos llegará al nivel de los países más desarrollados del mundo, se estaría absorbiendo para el año 2025 el 90% de agua potable disponible para el hombre.” (Uribe Celis & Amaya Sierra, 2007)

2.1.2. Características del agua

“El agua en condiciones ideales es inodora, incolora, posee fluidez, es densa y poco compresible, siendo casi seguro afirmar que su densidad no varía con la aplicación de presión. Presenta una viscosidad que depende también del material que la transporta”. (Uribe Celis & Amaya Sierra, 2007)

2.1.3. Tipos de agua

Según su procedencia se puede identificar, en el medio, distintos tipos de agua, está el agua de manantiales o subterránea, el agua potable, agua

residual y el agua de lluvia. Este trabajo se enfoca principalmente en esta última, sus usos, características y cómo se la podría emplear para aprovechamiento.

Dentro del carácter ambiental sin embargo, se logra clasificar el agua de la siguiente manera:

Agua para uso y consumo humano: Aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos al ser humano. (Soluciones Hidropluviales, 2010)

Aguas de escurrimiento superficial: Aquellas derivadas de las aguas pluviales, que transitan por la superficie terrestre y las que transitan por azoteas, tejados o techumbres de zonas habitacionales, áreas comerciales e industriales siempre y cuando en éstas no se manejen materiales o residuos peligrosos, antes de incorporarse a un cuerpo receptor. (Soluciones Hidropluviales, 2010)

Aguas residuales: Las que provienen de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias o de cualquier otra actividad que, por el uso de que ha sido objeto, contiene materia orgánica y otras sustancias químicas que alteran su calidad y composición original. (Soluciones Hidropluviales, 2010)

Agua Gris: la proveniente de actividades domésticas, comerciales o de servicios, que por el uso a que ha sido objeto, contiene residuos de jabón,

detergentes u otras sustancias químicas que alteran su calidad y composición original. (Soluciones Hidropluviales, 2010)

2.1.4. El agua lluvia

“El agua lluvia proviene directamente de la atmósfera y la captación de estas depende de la zona donde esté ubicado el proyecto”. (Uribe Celis & Amaya Sierra, 2007)

La calidad del agua lluvia es una propiedad variable, el agua de lluvia pura es difícil de encontrar. Los niveles de contaminación presentes en la atmosfera, pueden variar en concentraciones de partículas, microorganismos, metales pesados y sustancias orgánicas, las cuales influyen directamente sobre la calidad del agua. Esto sumado a la acumulación de contaminantes en las zonas de captación del sistema, permiten justificar la variabilidad de la calidad del agua. Es así que inclusive en ciudades industrializadas se ha llegado a negar el uso para actividades de ingesta o contacto directo con el ser humano. (Estupinan & Zapata, 2010)

2.1.4.1. Usos del agua de lluvia

Para muchos usos domésticos, la calidad del agua no precisa ser potable o apta para el consumo humano. Como por ejemplo en tareas como limpieza, lavado, abastecimiento tanque del inodoro, y riego. “En el inodoro gastamos alrededor de 40 litros de agua potable a diario” (Herrera Monroy, 2010).

En Europa el agua potable tiene un alto precio por lo que muchas empresas e industrias han optado por implementar programas para aprovechar el agua de lluvia. Por ejemplo, en Alemania existe un interés creciente en la captación de agua de lluvia para ser utilizado para usos no potables, se destaca la participación de los gobiernos locales que han otorgado subsidios y apoyos

para todas aquellas industrias y hogares que quieran instalar este tipo de sistemas. (Soluciones Hidropluviales, 2013)

En el Aeropuerto de Frankfurt se implementó un sistema de captación en la mayoría de zonas techadas de la terminal construida en 1993 (área de 26.800 m²). El agua es almacenada en 6 tanques que se encuentran en los sótanos, cada uno con una capacidad de 100m³. El agua es utilizada para sanitarios, riego y limpieza de los aires acondicionados. (Soluciones Hidropluviales, 2013)

2.1.4.2. Tendencias en aprovechamiento de agua lluvia

Los principales sistemas para aprovechar agua lluvia se basan en la forma como se capta y el uso que se le da, esta clasificación incluye:

- Sistemas para consumo humano
- Sistemas para uso agrícola y ganadero
- Captación de agua de niebla.

En general los sistemas de recolección de agua lluvia más empleados no tienen grandes diferencias entre sí, en su mayoría consisten de tres componentes básicos: captación, almacenamiento y distribución.

Las diferencias más significativas tienen que ver con la forma de captación del agua de lluvia (de acuerdo con las áreas, la geometría y el material de las cubiertas) y el tipo de almacenamiento. (Palacio Castaneda, 2010)

Dentro de este apartado, el aprovechamiento de las aguas lluvias, a través de una gestión integral, puede convertirse en una solución que ayude a replantear el modelo de consumo actual del agua (Coombes, Argue, & Kuczera, 2000) (Pacheco Montes, 2008). Esta percepción ha permitido que decenas de países muestren un mayor interés en el aprovechamiento de aguas lluvias, conocidas

como RWH (por sus siglas en inglés Rainwater Harvesting), acabando así también con la concepción tradicional que la consideraba más como un desecho y remplazándola por una nueva que la presenta como un recurso. (De Graaf, Van der Brugge, Lankester, van der Vliet, & Valkenburg, 2007)

Hoy en día, se reconoce que el aprovechamiento del agua lluvia (RWH) podría traer consigo múltiples beneficios, debido a que puede reducir la sobrepresión de los hidro-sistemas superficiales, intentado conservar este valioso recurso, al tiempo de disminuir los impactos de los contaminantes y las cargas de nutrientes en los ríos. (Booth, Attwater, Derry, & Simmons, 2003)

La infraestructura típica para el RWH se concentra en el diseño de la estructura de almacenamiento, puesto que casi siempre esta resulta ser indispensable para equilibrar las diferencias temporales entre el suministro y la demanda de agua, más aun, cuando es un sistema como este que no cuenta con una fuente perenne de suministro, sino que depende de las condiciones climáticas del sitio, que resulta ser variable frente a una demanda que es constante. (Estupinan & Zapata, 2010)

2.2. Diseño de manejo de AALL

2.2.1. Generalidades

El desarrollo del diseño que se propone consta esencialmente en determinar la demanda de agua, la oferta relacionada con la precipitación del sitio, el volumen previsto de almacenamiento del agua de lluvia, y red de distribución incluido el sistema de bombeo. A continuación se describen los modelos de cálculos para cada componente.

2.2.2. Teoría de drenaje pluvial

Si nos paramos un momento bajo la lluvia, y ponemos una probeta frente a nosotros, notaremos que ésta se llena de agua. La cantidad que se almacena en ella, depende del tiempo que la tengamos bajo la lluvia (Cadena Cepeda, 1998).

Si el recipiente tiene una entrada de un centímetro cuadrado, el volumen recolectado es $V = \text{cm}^3 / \text{cm}^2$, lo que nos proporciona unidades de: cm.

El segundo parámetro que nos interesa, es el volumen llovido por unidad de tiempo, en cm/ hora. a este parámetro se le denomina, intensidad de la lluvia.

Si medimos la cantidad de lluvia que se obtiene en un tiempo t_n , y obtenemos la relación volumen / t_n , tendremos la información de intensidad de lluvia, para el tiempo t_n . Este valor se denomina: Intensidad de lluvia promedio, para el tiempo t_n (Cadena Cepeda, 1998).

2.2.2.1. Formulación - Adaptación del método racional para aguas lluvias

Se utilizó el método racional, desarrollado por Mulvaney en 1850, el cual determina el caudal instantáneo máximo de descarga en una cuenca hidrográfica, razón por la cual se ha convertido en el modelo más simple y usado para diseños de drenaje urbano desde fines del siglo XIX (Fernandez & Rivera, 2000). Este método considera la cuenca total como una superficie única y uniforme en tiempo y espacio, con una tamaño igual al área de la cuenca (Rodriguez, Camacho, & Villareal, 2008)

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

Fórmula 1. Método Racional Convencional

Básicamente, el método racional se encuentra establecido a través de la ecuación universal (Formula 1), donde Q es el caudal máximo, C el coeficiente de escorrentía, I la intensidad de la lluvia y A , el área de la cuenca. (Estupinan & Zapata, 2010)

Para efectos de análisis de agua lluvia la intensidad es transformada en la altura (H) que la lámina de agua puede experimentar frente a la precipitación de diseño en cada una de las áreas receptoras A . (Chow, Hidraulica de canales abiertos, 1994). De esta forma la ecuación queda de la siguiente manera:

$$V = C \cdot H \cdot A$$

Fórmula 2. Método Racional para aguas lluvias

2.2.2.2. Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escorrentía o de escurrimiento, C , es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. (Mendez Zuniga, 2012)

Se define al coeficiente de escurrimiento como la relación entre la lámina de agua precipitada sobre una superficie y la lámina de agua que escurre superficialmente, ambas se expresan en mm lo que da un valor unidimensional a C .

$$C = \frac{Es}{Pr}$$

Fórmula 3. Coeficiente de escurrimiento.

Donde:

Es= Lamina escurrida (mm)

Pr= Precipitación (mm)

Para el presente diseño se utilizó los coeficientes de escurrimiento determinados por Ven Te Chow en Hidrología Aplicada (2000). (Chow, Maidment, & Mays, Hidrología Aplicada, 2000)

Tabla 1 Valores medio del Coeficiente de Escorrentía

TIPO DE ZONA	COEFICIENTE "C"
Zonas centrales densamente construidas, con vías y calzadas pavimentadas	0.7 – 0.9
Zonas adyacentes al centro de menor densidad poblacional con calles pavimentadas	0.7
Zonas residenciales medianamente pobladas	0.55 – 0.65
Zonas residenciales con baja densidad	0.35 – 0.55
Parques, campos de deportes	0.10 – 0.20

Tabla 2 Coeficiente de Escurrimiento C

TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE "C"
Lámina Galvanizada	>0.9
Tejas de arcilla	0.8 - 0.9
Madera	0.8 - 0.9
Lamina de Asbesto	0.8 - 0.9
Teja	0.6 - 0.9
Paja	0.6 - 0.7
Azulejos de cerámica	0.4 - 0.5
Materia Orgánica	0.2
Concreto	0.6 - 0.8
Pavimento	0.5 - 0.6
Geo membrana de PVC	0.85 - 0.9
Suelo con pendiente menor al 10%	0.0 – 0.3
Superficies naturales rocosas	0.2 – 0.5

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía es necesario establecer las distintas áreas y tipos de superficie.

El coeficiente medio ponderado se determina mediante la siguiente formula:

$$C = \Sigma(A_i \times C_i) / \text{Sum}(A)$$

Fórmula 4. Coeficiente de escorrentía medio.

En donde:

C=Coeficiente medio de escorrentía

A_i=Área de aportación correspondiente a cada tipo de superficie

C_i= Coeficiente de escorrentía correspondiente a cada tipo de superficie

A= Área total de aportación.

2.2.2.3. Área

Corresponden a la superficie total del proyecto de estudio, es decir, el área destinada a la recolección del agua de lluvia. Las áreas que se emplearon en esta fórmula son los techos de las bodegas y la planta.

2.2.2.4. Intensidad de lluvia

2.2.2.4.1. Generalidades

La primera característica a analizar en la intensidad de lluvia es su variación en el tiempo, y estudiar qué intensidad de lluvia hay que contemplar en cada caso. (Asociación de fabricantes de tubos de hormigón armado ATHA, n.d.)

Existen numerosas fórmulas empíricas para determinar la intensidad de lluvia. Debe tenerse en cuenta que dichas fórmulas son aplicables sólo a determinadas zonas en las que se validó la fórmula. (Asociación de fabricantes de tubos de hormigón armado ATHA, n.d.)

2.2.2.4.2. Formulación - Cálculo

Las ecuaciones de intensidad de lluvia para el proyecto serán las obtenidas del plan maestro pluvial y de alcantarillado de INTERAGUA (2001).

$$i_{10} = \frac{521}{t^{0.45} + 1.49}$$

Válida para un periodo de retorno de 10 años.

$$I = 181,8 \times t^{-0,2645}; \text{ para } 34\text{min} < t$$

$$I = 438,1 \times t^{-0,5148}; \text{ para } 34\text{min} < t < 120\text{min}$$

Válidas para un periodo de retorno de 5 años.

$$I = 175,3 \times t^{-0,366}; \text{ para } 120\text{min} < t$$

Válida para un periodo de retorno de 2 años.

2.2.2.4.3. Periodo de Retorno

El periodo de retorno se define como el intervalo de recurrencia (t), al lapso promedio en años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada.

2.2.2.4.3.1. Tiempo de concentración

Se lo define como el tiempo necesario (tc) para que una gota de agua llegue desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto donde se necesita estimar el caudal de escorrentía (Mendez Zuniga, 2012).

El tiempo de concentración de la lluvia (tc) es el valor que se emplea como (t) en la ecuación, para la obtención de la intensidad promedio para de la lluvia de máxima intensidad.

El valor de tc se obtiene mediante la suma del tiempo de concentración inicial y del tiempo de recorrido.

$$tc = ti + tr$$

Fórmula 5. Tiempo de concentración.

Donde:

ti = Tiempo inicial (minutos)

tr =Tiempo de recorrido (minutos)

Tiempo inicial: es el tiempo requerido, expresado en minutos, para que el agua fluya por la superficie del terreno hasta la primera entrada del sistema de recolección.

Tiempo de recorrido: es el tiempo requerido, expresado en minutos, para que el agua fluya en la alcantarilla desde el inicio hasta el final de esta.

$$tr = \frac{L}{60 \times V}$$

Fórmula 6. Tiempo de recorrido.

Donde:

tr= Tiempo de recorrido (minutos)

L= longitud del tramo (metros)

2.2.2.5. Altura – Precipitación media

Precipitación media es el promedio a largo plazo en profundidad (sobre espacio y tiempo) de precipitación anual en el país. La precipitación se define como cualquier tipo de agua que cae de las nubes en forma líquida o sólida (Banco Mundial, 2015).

Para determinar la precipitación media en una cuenca se elige un periodo de retorno determinado, se establece la cantidad de agua precipitada en cada estación para periodo de retorno seleccionado y luego se calcula la lluvia media, para esto se puede emplear cualquiera de los siguientes métodos:

- Método Aritmético

Consiste en realizar la suma del valor registrado para la lluvia en cada una de las estaciones pluviométricas ubicadas dentro del área en estudio y dividirla para el total de estaciones (Moreno, 2013).

- Polígonos de Thiessen

Requiere conocer la ubicación de cada estación dentro o en la periferia de la cuenca, identificando el área de influencia de cada pluviómetro. Así se forman triángulos entre las estaciones más cercanas uniéndolas con segmentos rectos sin que estos se corten entre sí (Moreno, 2013)

A partir de allí se trazan líneas bisectoras perpendiculares a todos los lados de los triángulos, las que al unirse en un punto común dentro de cada triángulo conforman una serie de polígonos que delimitan el área de influencia de cada estación. El área de influencia de cada estación considerada Polígono está comprendida dentro de la cuenca (Moreno, 2013)

- Método de las isoyetas

Para aplicar este criterio se debe contar con un plano de curvas isoyetas de la lluvia en estudio. Se determina la superficie encerrada entre curvas, para multiplicarla por la precipitación de esa faja, similar al procedimiento para curvas de nivel. La sumatoria de estas, dividida para el área de la cuenca da el valor de la precipitación media (Moreno, 2013).

Cuando aplicamos el método racional para el drenaje pluvial la intensidad se convierte en H o la altura de agua que llueve sobre un área en un tiempo determinado, lo que comúnmente se denomina precipitación media.

2.3. Componentes del Sistema

2.3.1. Captación

Se lleva a cabo en la cubierta o área de captación que es la superficie destinada para la recolección del agua precipitada. “La mayoría de los

sistemas utilizan la captación en sus cubiertas, los cuales deben tener adecuada pendiente (no inferior al 5%) y superficie, que faciliten el escurrimiento del agua lluvia hacia el sistema de recolección” (Armao & Luzardo, 2011)

2.3.2. Recolección y conducción

“Es el conjunto de canaletas adosadas en los bordes más bajos del techo, con el objeto de recolectar el agua lluvia y de conducirla hasta el sitio deseado. Las canaletas se deben instalar con una pendiente no muy grande que permitan la conducción hasta los bajantes. El material de las canaletas debe ser liviano” (Palacio Castaneda, 2010)

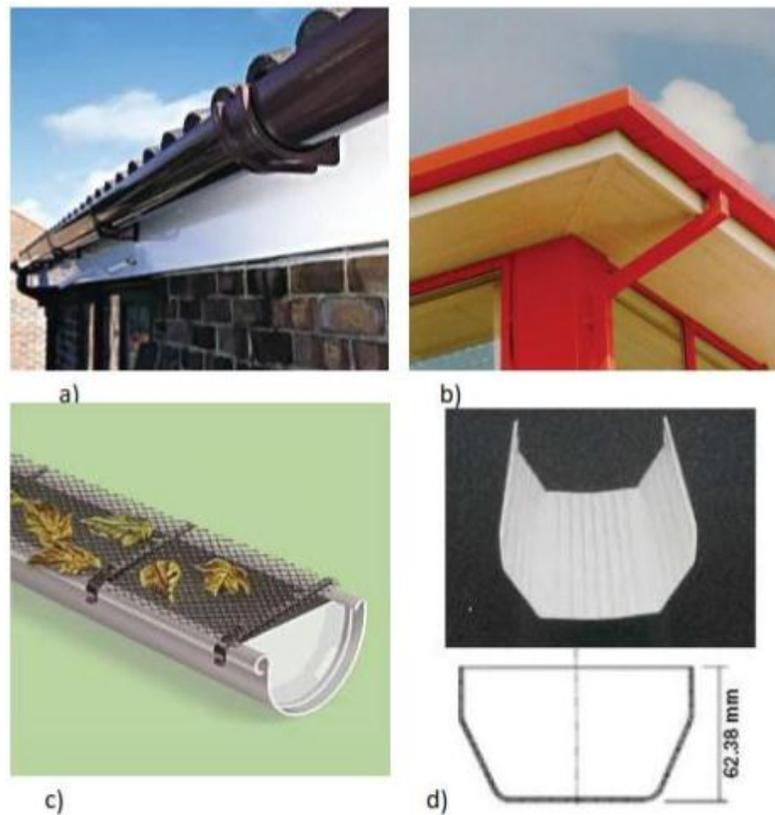


Ilustración 1 Tipos de canaletas para recolección de agua lluvia

2.3.3. Almacenamiento

Es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua lluvia a los diferentes usos.

Los tipos de tanques de almacenamiento de agua lluvia a ser empleados pueden ser construidos con los siguientes materiales:

- Mampostería para volúmenes menores (100 a 500 L)
- Ferro-cemento para cualquier volumen.
- Concreto reforzado para cualquier volumen.
- Laguna con recubrimiento geo sintético.

2.3.4. Red de distribución y sistema de bombeo

El sistema de bombeo distribuirá el agua desde la cisterna de almacenamiento hacia las unidades requeridas.

2.4. Evaluación Ambiental del proyecto

2.4.1. Generalidades

Utilizar eficientemente los recursos se ha convertido cada día más en una obligación antes que en una opción, reducir la cantidad de recursos que se desperdician es el objetivo primordial.

En el caso del recurso agua se busca reducir la cantidad de líquido que se utiliza por unidad en cualquier actividad, favoreciendo el mantenimiento o mejoramiento de la calidad del recurso.

La sociedad, incluyendo a los gobiernos y municipio, tiene el compromiso de manejar racionalmente los recursos, el agua por ejemplo, en periodos de

escases deberíamos estar preparados para ellos con prácticas que proporcionen igual o mejor servicio con menos agua, y limitando el uso para actividades que no lo requieren.

2.4.2. Beneficios ambientales por aprovechamiento de AALL

Las principales ventajas del aprovechamiento de aguas lluvias relacionadas con el desarrollo sostenible se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Ahorro de agua potable, el agua lluvia que se recolecta y posteriormente se utiliza en riego permite disminuir el consumo de agua potable que en un principio se destinaba para esta actividad.
- Canalizando y recolectando el agua lluvia se reduce la erosión de las superficies, al disminuir el flujo de agua sobre los suelos disminuye el transporte de sedimentos que influyen directamente en la erosión del suelo.
- El agua de lluvia, a diferencia del agua subterránea o agua de pozo contiene niveles muy bajos de sales, lo que beneficia al crecimiento de los cultivos.

2.4.3. Indicadores Ambientales

Son medidas que describen los estados y principales dinámicas ambientales de forma cuantitativa o cualitativa de un fenómeno ambiental y sus relaciones sociales y económicas, de manera selecta, procesada, descrita y contextualizada, reflejando la tendencia y evolución de los mismos, contribuyendo al desarrollo sostenible del proyecto. (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2014)

2.4.3.1. Consumo mensual de agua potable

Definido como la cantidad de agua en metros cúbicos (m³) mensual consumido o demanda por el proyecto para actividades de riego, se debe establecer un promedio y un rango para el indicador, con el fin de poder gestionarlo.

Consumo mensual = m³ / mes

2.4.3.2. Costo de suministro mensual de agua potable

Definido como la cantidad de dinero mensual gastada por la institución a la empresa prestadora del servicio de agua potable, se debe establecer un promedio y un rango para el indicador, con el fin de poder gestionarlo.

Costo suministro mensual = \$ / mes

2.4.3.3. Huella hídrica

La huella hídrica es una medida de la apropiación de agua dulce existente en un producto o patrón de consumo. Está compuesta por 3 partes: la huella hídrica azul, la verde y la gris. La azul mide el volumen de agua extraída de aguas subterráneas o superficiales, menos el flujo de retorno. La verde se refiere al volumen de agua lluvia que se consume en un proceso de producción agrícola. La gris es un indicador de la contaminación de agua dulce. (Telegrafo, 2014)

2.5. Evaluación económica del proyecto

La evaluación económica de un proyecto se basa normalmente en el análisis de los ingresos vs los gastos relacionados, con el fin de determinar si son

suficientes para soportar la prestación de la deuda anual y de retribuir el capital invertido.

Para evaluar la viabilidad de un proyecto de inversión los indicadores más utilizados por los economistas son: Valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), coeficiente beneficio costo, y periodo de recuperación.

2.5.1. Valor Actual Neto VAN

Es un indicador financiero que mide los flujos de los ingresos y egresos futuros que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, queda una ganancia.

Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros (ingresos menos egresos). El método, además, descuenta una determinada tasa o tipo de interés igual para todo el período considerado. (Puga Muñoz, 2011)

Tabla 3 Valor Actual Neto (VAN) - Interpretación

Valor	Significado	Decisión a tomar
$VAN > 0$	La inversión producirá ganancias	El proyecto puede aceptarse
$VAN < 0$	La inversión producirá pérdidas	El proyecto debería rechazarse
$VAN = 0$	La inversión no produciría ni ganancias, ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario, la decisión debería basarse en otros criterios.

2.5.2. Tasa Interna de Retorno TIR

También denominada tasa interna de rentabilidad de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto (VAN) de una inversión sea igual a cero (Puga Muñoz, 2011).

Este método considera que la inversión es aconsejable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor (tasa de descuento). Si la TIR es igual a la tasa de descuento, el inversionista es indiferente entre realizar o no la inversión. Si la TIR es menor a la tasa de descuento, el proyecto debe rechazarse (Puga Muñoz, 2011).

2.5.3. Coeficiente beneficio-costos

Se obtiene con los datos del VAN; cuando se divide la sumatoria de todos los beneficios entre la sumatoria de los costos. (Lavanda Reategui, 2005)

Si $BC > 1$: El proyecto es aceptable.

Si $BC =$ cercano a 1: El proyecto es postergado.

Si $BC < 1$: El proyecto no es aceptable.

2.5.4. Periodo de recuperación

Se define como el período que tarda en recuperarse la inversión inicial a través de los flujos de caja generados por el proyecto. La inversión se recupera en el año en el cual los flujos de caja acumulados superan a la inversión inicial.

Se efectúa por tanteos utilizando los valores del VAN hasta obtener un valor negativo y uno positivo. (Lavanda Reategui, 2005)

2.6. Sistema de hipótesis

El sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias funciona de forma óptima, reduce considerablemente el consumo de agua potable; generando un ahorro económico significativo para los usuarios, además garantiza la utilización de un recurso barato y apto para las actividades relacionadas.

2.7. Definiciones conceptuales

Acometida: derivación de la red de distribución que llega hasta el registro de corte de un usuario. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general.

Agua lluvia o pluvial: es el producto de la precipitación o lluvia.

Agua Potable: Se llama agua potable al agua dulce que tras haber sido sometida a un proceso de potabilización se encuentra apta para el consumo humano.

Área de drenaje/captación: en cubiertas es el área de proyección horizontal de la cubierta

Bajante: Tubería vertical que recibe y conduce aguas lluvias.

Colector: Tubería destinada a recoger y conducir agua de lluvia.

Cubiertas: Sistema de cierre en la parte superior de una construcción. Parte exterior de la techumbre de un edificio.

Presión: Fuerza ejercida por cualquier fuente sobre un área determinada.

Precipitación media anual: “valor que se obtiene a partir del promedio de las lluvias registradas en los doce meses del año”. (Centro Nacional de Información Geográfica, n.d.)

Sistema de riego de áreas verdes: “Se denomina sistema de riego o perímetro de riego, al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas”. (ECURED, n.d.)

Tanque: dispositivo de almacenamiento de agua o cualquier otro líquido que llegase a necesitar para posteriormente ser bombeado.

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Diseño de la Investigación

De acuerdo al planteamiento para realizar este proyecto se llevó a cabo una investigación aplicada, es decir, que se identificó por la aplicación de conocimientos que se han adquirido a lo largo de un proceso educativo, y se encuentra basada en una investigación básica.

Todo el proceso de la investigación no se puede dar sin un conocimiento previo teórico, de experiencias que se tomarán de otras investigaciones con planteamientos similares. La metodología que se siguió en el proceso del desarrollo fue también secuencial, ya que se llevó en una serie de procesos consecutivos.

Además, es una investigación cuantitativa ya que se emplearon técnicas estadísticas y matemáticas. El objetivo mismo de la investigación la clasifica así porque se planteó desarrollar un diseño de utilización del agua lluvia y medir el costo-beneficio de emplear el mismo en el proyecto.

Es una investigación de carácter práctico porque se caracteriza por la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren.

Finamente la investigación es analítica, se ha propuesto una hipótesis y el proceso de investigación trata de comprobarla o validarla.

3.2. Población

La población corresponde al área total del estudio, el proyecto se encuentra ubicado en la vía Duran-Tambo km.9 en el cantón Duran a pocos minutos de la ciudad de Guayaquil.

Es una planta de producción de fertilizantes y herbicidas llamada Crystal Chemical. Este proyecto consta de 4 galpones de producción y bodegaje, un edificio de laboratorios y dos de oficinas, áreas de servicios de personal y parqueos.

El desarrollo de este proyecto se enfocó en las cubiertas y los pavimentos como zonas de captación de aguas pluviales. Cabe resaltar que es obligación de la planta contar con sistemas de reutilización y reciclaje, con el fin de alcanzar certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) y Punto Verde.

3.3. Instrumentos de recolección de datos

Los datos se obtuvieron de los informes y documentos de las entidades nacionales pertinentes al tema, y la empresa consultora del proyecto.

Las principales fuentes en las que se han encontrado la información pertinente al caso son:

- Planos y diseños del proyecto, proporcionados por la empresa consultora.
- Memorias técnicas de los diseños sanitarios del proyecto.
- Los boletines climatológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inamhi) que se emiten anualmente.

- Estudio de Impacto Ambiental del proyecto.
- Registros pluviales proporcionados por la Secretaria Nacional de Riesgos.

Ambas organizaciones nacionales cuentan con portales web de acceso gratuito a toda esta información.

Y para el caso de la consultora, se cuenta con acceso directo a la información.

3.4. Metodología

3.4.1. Metodología Diseño

Se realizó utilizando el método racional adaptado al estudio de aguas lluvias, conociendo las características del sitio de estudios tales como la información pluviométricas y la demanda de agua para riego se pudo determinar el diseño del sistema de recolección y almacenamiento de agua pluvial.

Si se conoce la cantidad de lluvia que precipita en el sitio, los metros cuadrados de cubierta que dispone el proyecto y la demanda de agua para riego que se proyecta, se cuenta con la información suficiente para el diseño de la cisterna de almacenamiento y de red de recolección y distribución.

Los pasos que se llevaron a cabo con el fin de cumplir con este objetivo del proyecto, fueron los siguientes:

- Calculo del Caudal de agua lluvia, para lo cual fue necesario realizar los cálculos necesarios para hallar los valores de Coeficiente de escurrimiento, áreas de recolección e intensidad de lluvia.
- Determinación de la precipitación media anual, valor que se obtuvo de los registros pluviométricos del sitio.

- Determinación del consumo de agua para riego, para esto fue necesario conocer la dotación que exigen las especies de plantas y césped con el que van a contar los jardines, información que fue provista por la empresa encargada del diseño de jardines para el proyecto.
- Se emplea un periodo de retorno de 10 años para la fórmula de la intensidad de lluvia, por ser el lapso de tiempo en que puede ocurrir un fenómeno de gran magnitud, como el fenómeno de El Niño, así se manejan cantidades que otorgan al proyecto seguridad para su ejecución. Además se tiene como referencia la información utilizada por el consultor.
- En función de todo lo mencionado anteriormente, se propone el almacenamiento de agua lluvia mediante lagunas.

3.4.2. Metodología Costo – Beneficio

Una vez determinado el diseño del sistema, se debe conocer los costos que implicaría la construcción del mismo. Se elaboró un presupuesto aproximado del costo inicial de la implementación del diseño, también conocido para el propósito como el valor de la inversión inicial.

Además corresponde costear el gasto de agua potable que tendría el proyecto si el sistema de aprovechamiento de agua lluvia no se implementara.

De esta forma se compararon ambos valores, y se determinara que tan factible es en términos de inversión y costo para la empresa implementar un sistema como el propuesto.

Los pasos que se llevaron a cabo con el fin de cumplir con este objetivo del proyecto, fueron los siguientes:

- Evaluación de los costos de inversión del proyecto, se consideró un presupuesto referencial para la construcción de la laguna de almacenamiento.
- Valoración de VAN y TIR, periodo de retorno y coeficiente costo-beneficio, para la cual se emplearon los pasos básicos de la evaluación económica de un proyecto.
- Apreciación de la factibilidad del proyecto medida en cada uno de los indicadores.

3.4.3. Metodología Beneficio Ambiental

Finalmente, se conoce que no sólo se pueden alcanzar beneficios económicos cuando se habla de desarrollo sostenible la principal meta es lograr reducir el uso de recursos obteniendo los mismo resultados sin alterar el desarrollo de las generaciones futuras, por tanto otro punto importante es conocer los sitios estratégicos en los que el sistema de aprovechamiento de agua pluvial proporciona al proyecto y a la comunidad envuelta beneficios de carácter ambientales.

Al igual que para la evaluación económica, en la evaluación ambiental del proyecto se midieron los beneficios que tiene la implementación del proyecto en medida de los indicadores ambientales, tales como huella hídrica, consumo volumen mensual y consumo planilla mensual.

3.5. Técnicas de Investigación y pasos a utilizar.

Las técnicas son los procedimientos e instrumentos que utilizamos para acceder al conocimiento.

Los pasos de la investigación han de ser los siguientes:

1. Tema
2. Delimitación del tema
3. Formulación del problema
4. Planteamiento de la hipótesis
5. Recolección de datos e información en las fuentes antes mencionadas
6. Análisis de datos que permita conocer los requisitos de la planta para emplear agua en el riego de áreas verdes.
7. Diseño del sistemas de aguas lluvias más conveniente, es decir, un sistema que le permita al proyecto calificarse como una planta sostenible.
8. Comparación de costos, contrastar el costo generado empleando agua potable para riego versus los costos de implementación del sistema de reutilización de aguas lluvias.
9. Comprobación o validación de la hipótesis.
10. Presentación final.

4. CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

4.1. Ubicación del Proyecto.

La planta Crystal Chemical se encuentra ubicada en el km 9 de la Vía Duran-Tambo en el cantón de Duran de la provincia del Guayas.

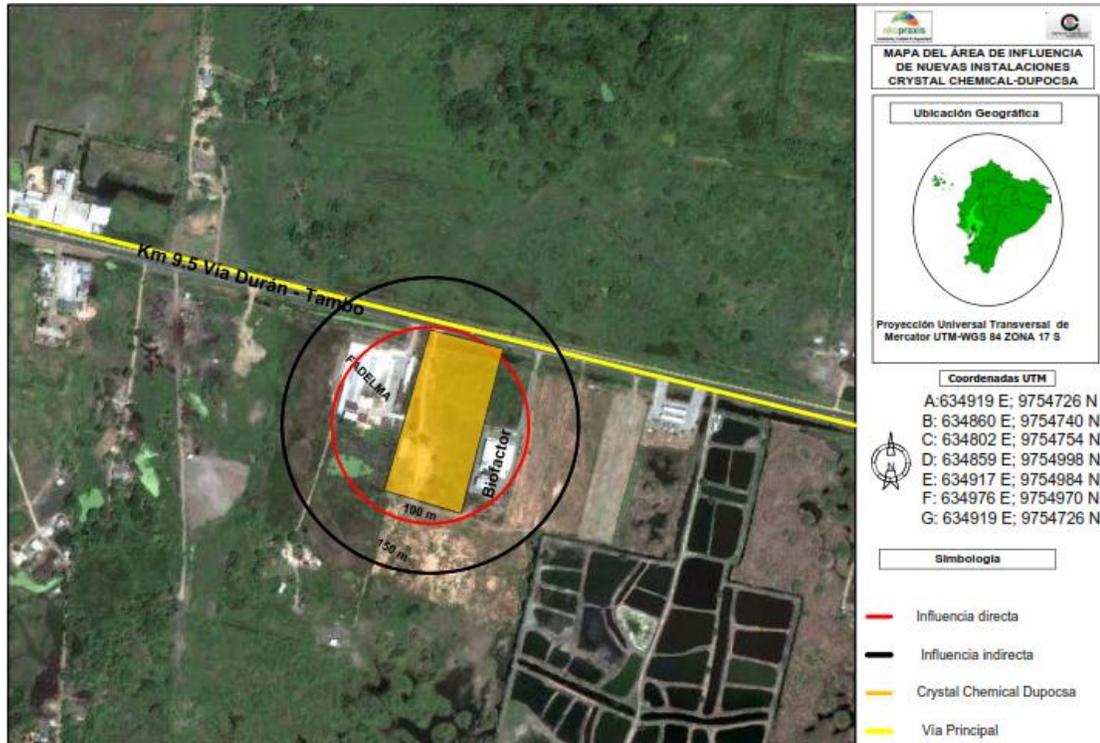


Ilustración 2 Ubicación del Proyecto

El acceso a las instalaciones del proyecto, se realiza por la Vía Duran-Tambo, la cual constituye una vía de primer orden. (Véase Anexo 1. Vista Satelital de la ubicación del proyecto)

El cantón Duran forma parte de la provincia del Guayas, se encuentra ubicado a 6km de la ciudad de Guayaquil, capital de la provincia. Su cabecera cantonal es Gral. Eloy Alfaro.

Duran se encuentra localizado a 11m.s.n.m, su temperatura promedio es de 25°C y su precipitación promedio anual es de 500 a 1000 mm. Y cuyo perfil oriental se encuentra bordeado por el Rio Guayas.

4.2. Descripción del entorno.

Corresponde a la descripción de la línea base, tomada del Estudio de Impacto Ambiental elaborado por la consultora Ekopraxis.

4.2.1. Medio Físico.

El accidente tectónico más relevante que se ha producido en la costa ecuatoriana es el levantamiento de la cordillera Chongo-Colonche. El manto que aflora en la zona de estudio, es la formación Cayo perteneciente al Cretácico superior, representada por la ocurrencia de rocas sedimentarias de origen volcánico submarino. El relieve de la zona de estudio presenta una superficie plana a casi plana, resultado de las compactaciones de suelo de los asentamientos poblacionales e industriales existentes. El clima de la zona tropical mega térmico semi-humedo, temperaturas medias superiores a los 26,26°C. La precipitación media anual es de 1042,7mm.

4.2.2. Medio Biótico.

El sector donde se encuentra el terreno corresponde a zona industrial y de vivienda; debido a esta clasificación se puede observar la presencia de fábricas, canteras, lo que ha ocasionado que actualmente se encuentre intervenida, por lo tanto los factores bióticos flora y fauna no tienen relevancia en la descripción del entorno del sitio donde se desarrollara el proyecto.

4.2.3. Medio Cultural- Socioeconómico.

De acuerdo a datos del VI Censo de Población y V de Vivienda del 2010 el cantón Duran posee 235769 habitantes. La principal actividad económica del cantón es la agricultura. El cantón duran cuenta con los siguientes servicios básicos: energía eléctrica, agua potable, telefonía convencional y celular, recolección de basura. Cabe mencionar que la cobertura de estos servicios no es total.

4.3. Descripción del proyecto.

Crystal Chemical es una empresa privada dedicada a la formulación y envasado de plaguicidas. Podemos resumir sus procesos durante la operación en los siguientes:

- Formulación de suspensiones concentradas (herbicidas y fungicidas)
- Formulación de polvos mojables (fertilizantes y adherentes)
- Formulación de insecticidas solubles en solventes orgánicos y concentrado emulsionables.

El edificio se encuentra zonificado de la siguiente manera:

- Garita de Guardianía
- Edificio de oficinas
- Administración
- Sala de capacitación
- Comedor
- SSHH Personal
- Enfermería
- Área de mantenimiento
- Laboratorio
- Galpón de Herbicidas

- Galpón de Fungicidas
- Oficinas
- Bodega de logística
- Áreas verdes
- Vías de circulación.

4.4. Sistemas Hidro-sanitarios.

La información se ha extraído de la memoria hidro-sanitaria elaborada por Consulambiente Cia. Ltda en el año 2014.

4.4.1. Agua Potable AAPP

El agua que requiere la planta proviene de fuentes de aguas subterráneas, las cuales son captadas por medio de un pozo profundo perforado para el propósito. Mediante un sistema de bombeo se extrae desde el pozo el líquido existente en el acuífero. Dichas aguas son apropiadamente tratadas, a fin de potabilizarlas y así se conviertan en aguas aptas para los varios procesos y consumos que se requieren en la planta industrial.

El agua potabilizada es almacenada en un reservorio bajo desde donde se las capta con un grupo de bombeo, para distribuirla a las diferentes áreas a servirse. Dichas áreas son la industrial, administrativa y operativa. (Véase *Anexo 2. Diseño Sanitario - AAPP*)

En la siguiente tabla se presenta el consumo total medio diario del proyecto.

Tabla 4 Consumo Total diario de Agua Potable

DESCRIPCION	CONSUMO	
	m3/d	l/s
AREA INDUSTRIAL	18,00	0,208
AREA ADMINISTRATIVA Y OPERATIVA	9,00	0,104
TOTAL	27,00	0,313

La tubería de distribución será de polietileno termofusionado. La tubería de distribución por punto de suministro será de Polipropileno Termofusión. El cuerpo de las varias válvulas es de bronce.

4.4.2. Aguas Servidas AASS

El sistema de drenaje de aguas servidas está constituido por tuberías de evacuación interna y externa, y de ventilación. (Véase Anexo 3. Diseño Sanitario - AASS)

El proceso industrial de la planta demanda que las aguas residuales se las disgregue en dos:

- Aguas residuales negras.- Proviene de lavamanos y fregaderos
- Aguas residuales industriales.- Estas se utilizan en el procesamiento industrial de los productos de la planta.

Las aguas residuales negras son direccionadas hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.

Las tuberías a emplearse al interior de la edificación serán de PVC, tipo desagüe, norma INEN 1374. Para las áreas exteriores, se recomienda tuberías de PVC, tipo NOVAFORT serie 5, norma NTE INEN 2059: 2004, Tercera Revisión.

4.4.3. Agua Lluvia AALL

Las aguas lluvias descargadas sobre la cubierta de las edificaciones serán recolectadas en canalones, los mismos que estarán conectados a bajantes de agua que transportarán dichas aguas hacia los colectores del nivel de terminado de piso que es +0.40 msnm. (Véase Anexo 4. Diseño Sanitario - AALL)

El tipo de sumidero escogido es de rejilla sencilla. Los sumideros se han ubicado en sitios apropiados garantizando así el escurrimiento total de las aguas lluvias.

Las cámaras de inspección se encuentran en los siguientes lugares:

- Al comienzo de todo colector
- En toda intersección de colectores
- En todo cambio de dirección
- En todo cambio de pendiente
- En todo cambio de diámetro.
- Distancia máxima entre cámaras de inspección es de 90 m.

En los desagües pluviales internos, se usará tubería y accesorios de sanitaria de PVC Cédula 40 con uniones cementadas. Los accesorios serán de PVC, afines al material de la tubería descrita.

Para la construcción de la red de desagüe se utilizará tubería sanitaria de P.V.C. tipo Novafort, Serie 5, fabricadas bajo la norma NTE INEN 2059: 2004 Tercera Revisión, con accesorios del mismo material y uniones cementada

Para la determinación de los caudales de diseño de aguas lluvias, se emplea el Método Racional. El coeficiente de escurrimiento se considera que es del orden de 0.70

La intensidad de la lluvia se la determina mediante el uso de las curvas de duración-intensidad-frecuencia, desarrolladas para Guayaquil, en virtud de la cercanía del área del proyecto con esa ciudad. Para el proyecto es considera que la precipitación analizada tendrá un período de retorno 10 años. En el diseño se asume una duración de la lluvia de 10 minutos.

La precipitación considerada en los diseños de la red pluvial tiene una intensidad de lluvia de 120.93 mm/hr.

5. CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Generalidades

La nueva planta se encontrara ubicada en el km9 de la Vía Duran-Tambo, y contará con una superficie en planta de aproximadamente 30.317m² dentro de los que se cuenta con galpones para la producción, parqueos y vías de circulación, edificios de oficinas y laboratorio. Siendo un porcentaje importante de este área destinado a jardines y áreas verdes. (Véase Anexo 5. *Implantación General del proyecto*)

5.2. Método Racional

Para la determinación de los caudales de diseño de aguas lluvias, se emplea el Método Racional:

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

Donde:

Tabla 5 Componente de la Fórmula para determinación de Caudal Q

Q	caudal en metros cúbicos por segundo
A	área de drenaje en hectáreas
C	coeficiente de escurrimiento
I	es la intensidad de lluvia en milímetros por hora

5.2.1. Área de Captación del agua de lluvia

La superficie destinada para la captación y recolección del agua lluvia está comprendida por el área de cubiertas de los distintos galpones y edificios, y por los metros cuadrados de pavimentos correspondientes a vías de circulación.

En la siguiente implantación se marcan las áreas destinadas a la captación de lluvia. (Véase Anexo 6. *Implantación Áreas de Captación*)

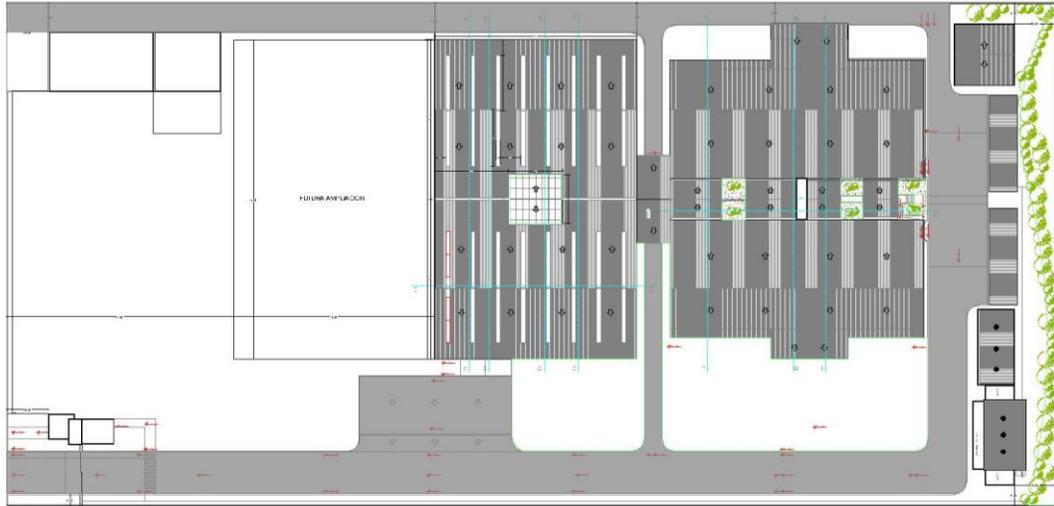


Ilustración 3. Implantación - Áreas de captación

La clasificación de las áreas de recolección para el proyecto se hizo de la siguiente manera:

- Bodega Logística - BLOG: galpón con mayor superficie, y el sitio destinado al almacenamiento del producto terminado.
- Planta Fungicidas – PFUNG: galpón cuya función es la fabricación y mezcla de productos fungicidas.
- Planta Herbicidas - PHERB: galpón en cuyo interior se encuentra la planta productora de productos herbicidas.
- Oficinas Administración - OFIC: Bloque de oficinas de tres plantas ubicado en medio de los galpones de herbicidas y fungicidas.
- Cuartos de Servicio - CTSERV: comprende todos los cuartos destinados a servicio de ingenierías y personal, comprendidos en el interior del predio.

- Vías – PAV: Todo pavimento de hormigón destinado a la circulación de vehículos.

Tabla 6 Áreas de Captación

COD	DETALLE	UNIDAD	CANT	A (m2)	A (hectárea)
	CUBIERTA			8846,95	0,88
BLOG	BODEGA LOGISTICA	M2	3673,00		
PFUNG	PLANTA FUNGICIDAS	M2	1864,20		
PHERB	PLANTA HERBICIDAS	M2	1864,20		
OFIC	OFICINAS ADMIN	M2	521,03		
CTSERV	CTOS SERVICIOS	M2	924,52		
	VIAS			5771,00	0,58
PAV	PAVIMENTO	M2	5771,00		
Σ				14617,95	1,46

5.2.2. Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento se considera que:

$$C = \Sigma(A_i \times C_i) / \text{Sum}(A)$$

Por tanto, C es igual a la sumatoria del producto de las áreas de captación por cada coeficiente, determinado por el material de la superficie, dividido para el total del área de captación, lo que da como resultado un valor adimensional. Y que se emplea como un coeficiente medio para todo el proyecto.

Tabla 7 Coeficiente de Escurrimiento

COD	DETALLE	U	Ai	TIPO DE SUPERFICIE	Ci	Ai x Ci
BLOG	BODEGA LOGISTICA	M2	3673,00	Lámina Galvanizada	0,90	3305,70
PFUNG	PLANTA FUNGICIDAS	M2	1864,20	Lámina Galvanizada	0,90	1677,78
PHERB	PLANTA HERBICIDAS	M2	1864,20	Lámina Galvanizada	0,90	1677,78
OFIC	OFICINAS ADMIN	M2	521,03	Lámina Galvanizada	0,90	468,93
CTSERV	CTOS SERVICIOS	M2	924,52	Lámina Galvanizada	0,90	832,07
PAV	PAVIMENTO	M2	5771,00	Concreto	0,70	4039,70
		Σ	14617,95		Σ	12001,96

$$C = 0,82$$

5.2.3. Intensidad de lluvia

La intensidad de la lluvia se la determina mediante el uso de las curvas de duración-intensidad-frecuencia, desarrolladas para Guayaquil, en virtud de la cercanía del área del proyecto con esa ciudad. Para el proyecto es considera que la precipitación analizada tendrá un período de retorno 10 años. La siguiente expresión permite la determinación de la intensidad de la lluvia para dicho período de retorno:

$$i_{10} = \frac{521}{t^{0.45} + 1.49}$$

Tabla 8. Intensidad de lluvia

$t=$	10	años
$i_{10}=$	120,93	mm/hora

5.2.4. Caudal Q

Conociendo todo lo anterior, se calcula el caudal Q.

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

Tabla 9. Caudal Q

Q=	0,40	m3/seg
-----------	------	--------

5.2.5. Adaptación del Método Racional al Drenaje Pluvial

Para efectos de análisis de agua lluvia la intensidad es transformada en la altura (H) que la lámina de agua puede experimentar frente a la precipitación de diseño en cada una de las áreas receptoras A.

$$V = C \cdot H \cdot A$$

Tabla 10. Adaptación del Método Racional al Drenaje Pluvial

C=	0,82	
H = P.M.A. =	1,04	m
A=	14617,95	m2
V=	12514,44	m3

En donde C corresponde al Coeficiente de escurrimiento calculado en el apartado anterior, siendo un valor adimensional.

H se define como la altura de agua llovida, también conocida como Pluviosidad o Precipitación Media Anua, valor que se obtiene de los registros meteorológicos del sitio y que para el proyecto se adquiere específicamente del Estudio de Impacto Ambiental.

Área (A) es la medida en m2 de la superficie total que servirá para captación del agua de lluvia.

Obteniendo así V, el volumen total de lluvia recibido en un año.

5.3. Riego

5.3.1. Área Verde

Para calcular el volumen de agua necesario para la actividad de riego, primero debemos definir qué áreas se van a abastecer.

Tabla 11. Áreas Verdes

COD	DETALLE	CANT	UNIDAD
	JARDINES		
AVERDE	AREAS VERDES	3760,85	M2

Como podemos observar en el siguiente plano se marcan en color verde las áreas destinadas al riego para el estudio. (Véase Anexo 7. *Implantación- Áreas Verdes*)



Ilustración 4. Implantación Arquitectónica - Área Verde

5.3.2. Dotación y requerimientos

La dotación para riego es el volumen necesario de agua que se precisa para mantener los jardines, calculada en litros/día x m² y se obtiene de la memoria técnica del diseño para Riego. (Véase Anexo 8. Sistema de Riego)

La dotación está calculada también en función de las especies que se plantarán conforme lo indica el diseño de jardines. (Véase Anexo 9. Jardines – especies)

El Caudal para riego es el producto del caudal por el área total de jardines en m².

Se ha contemplado todos los cálculos para un periodo de 8 meses, que corresponden a la época seca del año.

Tabla 12. Riego - Dotación y Requerimientos

Dotación para riego	5,00	litros/día x m ²
Caudal	18804,25	litros/día
	18,80	m ³ /día
Requerimiento días de riego	8,00	mes
	240,00	día
Caudal total para época seca	4513,02	m ³ /8meses

5.4. Almacenamiento

Es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua lluvia a los diferentes usos.

Tabla 13. Volumen Almacenamiento - Cálculo

h columna agua	2,50 m
h laguna	2,90 m

Dimensiones

Base menor		Base Mayor	
a Menor	40,00 m	a Mayor	41,00 m
b menor	45,00 m	b Mayor	46,00 m
Área Menor Abm	1800,00 m ²	Área Mayor ABM	1886,00 m ²
Perímetro base menor	170,00 m	Perímetro base mayor	174,00 m

$$Volumen = \frac{h}{3} (A_{BM} + A_{Bm} + \sqrt{A_{BM} \cdot A_{Bm}})$$

Vol. Tanque	5344,22 m ³
Vol. Agua	4607,08 m ³

Se toma como referencia un tanque con una forma trapezoidal, y cuyo volumen se calcula a partir de la fórmula de un tronco de pirámide con base rectangular.

En la práctica podemos ver que nuestra laguna de almacenamiento luciría similar a lo que se muestra en las siguientes imágenes.



Ilustración 5 Empleo de Geo sistemas en Sistema de Captación de Agua Pluvial



Ilustración 6 Lagunas de Almacenamiento del Municipio de Contralmirante Villar en Acapulco – México

Para el cálculo del tiempo que tardará en llenarse la laguna, se ha propuesto un tiempo de lluvia equivalente a 5 min/día.

Utilizando el volumen y el caudal calculados anteriormente se concluye que la laguna alcanzará su volumen deseado en un periodo igual a 3 horas.

Tabla 14. Tiempo de llenado

Q	0,40	m3/seg
Tiempo	11427,55	seg
	3	horas

5.4.1. Ubicación del Sistema de Aprovechamiento de agua lluvia en la planta Crystal Chemical.

Para el caso de estudio se dispone de área suficiente para la construcción la laguna de almacenamiento, pero por cuestiones económicas bajo un esquema general posteriormente se consideró el costo de adquisición del terreno para la evaluación económica.

El área necesaria es de aproximadamente 1886m², superficie que se encuentra útil en la parte frontal del terreno, otro punto beneficioso es que la laguna se ubicaría junto al cuarto de bombas, lo que implicó menos costos en tuberías.

A continuación se muestra la ubicación tentativa de la laguna de almacenamiento dentro de la implantación general del proyecto. (*Véase Anexo 10. Ubicación de laguna de almacenamiento*)



Ilustración 7. Planta de Ubicación Laguna de Almacenamiento

5.5. Evaluación Económica

Para evaluar la viabilidad del proyecto se utilizó los siguientes indicadores: Valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), coeficiente beneficio costo, y periodo de recuperación.

5.5.1. Inversión Inicial – Presupuesto referencial

La inversión inicial es la cantidad de dinero que es necesario invertir para poner en marcha el proyecto, para este caso específico corresponde a los costos extraídos del presupuesto para la ejecución de la laguna de almacenamiento y la obra sanitaria.

Como costo importante dentro del presupuesto referencial se agregó el costo de adquisición del terreno, que aunque para el caso estudiado no aplicaría porque se cuenta con área suficiente disponible, es necesario valorarlo para efectos de cálculo de la evaluación económica.

Tabla 15. Presupuesto Referencial

DESCRIPCION	UN	CANT	P UNIT	SUBTOTAL
LAGUNA DE ALMACENAMIENTO				\$ 126.311,14
Adquisición de terreno	m ²	1886,00	\$ 50,00	\$ 94.300,00
Trazado y replanteo	m ²	1886,00	\$ 0,72	\$ 1.357,92
Excavación sin clasificación (incluye desalojo)	m ³	5344,22	\$ 3,00	\$ 16.032,65
Nivelación y Compactación de Superficie	m ²	1800,00	\$ 0,61	\$ 1.098,00
Geotextil	m ²	2304,60	\$ 1,95	\$ 4.493,97
SISTEMA DE BOMBEO				
Bomba Goulds 5 H.P. Mod 3656	gbl	1,00	\$ 4.000,00	\$ 4.000,00
Tubería de riego	gbl	1,00	\$ 948,60	\$ 948,60
Sistema de aireación	gbl	1,00	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00
LIMPIEZA Y DESALOJO				
Limpieza Semanal de Obra	semana	6,00	\$ 180,00	\$ 1.080,00

5.5.2. Suministro AAPP

En la actualidad el proyecto se ve abastecido de agua potable por medio de tanqueros que van desde la ciudad de Duran, al no contar el sitio con sistema de agua potable por tuberías.

Todos los valores son extraídos del costo real que se paga en la actualidad para la construcción de la planta.

Por tanto los costos de los suministros se reflejan de la siguiente manera:

Tabla 16. Suministro de Agua Potable

Costo Suministro AAPP		
\$ tanquero (7m3)	\$ 45,00	\$/7m3
	\$ 6,43	\$/m3
Caudal total para época seca	4513,02	m3/8meses
Gasto en Riego	\$ 29.012,27	\$/8meses

5.5.3. Indicadores Económicos

Los ingresos del análisis del proyecto se obtienen conociendo el valor que se ahorraría en riego, es decir, el costo de agua potable por tanquero en los 8 meses de época seca, para cada año posterior se ve afectado por una inflación correspondiente al 3,5% anual.

Por otro lado, los egresos son los gastos que se van a dar año a año por el funcionamiento y mantenimiento del sistema propuesto para lo cual se ha empleado el mismo porcentaje de inflación anual, y se ha desglosado de la siguiente manera:

Tabla 17. Egresos

Bomba	Goulds 5 H.P. Mod 3656	
Presión constante mín	50 psi	
Potencia	5,00	HP
	3,67	KW
Consumo	18,33	KWH (5 HORAS/DIA)
Tarifa (Fuente CNEL)	\$ 0,04	\$/KWH
Planilla Mensual	\$ 22,00	\$/mes
Planilla Anual	\$ 176,00	\$/8mes

Mantenimiento	\$ 360,00	\$/anual
Personal Mantenimiento	\$ 4.248,00	\$/anual
Costo Final Mantenimiento	\$ 4.608,00	\$/anual

Total egresos	\$ 4.784,00
----------------------	-------------

En el resumen de los egresos se reflejan los gastos relacionado con mantenimiento, donde se consideró el salario básico de una persona durante un año; y el valor de la planilla eléctrica que se genera como producto del uso de la bomba destinada para el riego de jardines.

La especificación de la bomba es la que manda la propuesta del sistema de riego.

El 3,5% de inflación se planteó como un valor promedio entre los registrados por el Banco Central del Ecuador que oscilan en porcentajes mensuales entre el 2% y 5%.

Tabla 18. Ingresos - Egresos

FLUJO DE INGRESOS

ANO	\$
1	\$ 29.012,27
2	\$ 30.027,70
3	\$ 31.078,67
4	\$ 32.166,42
5	\$ 33.292,25
6	\$ 34.457,48
7	\$ 35.663,49
8	\$ 36.911,71
9	\$ 38.203,62
10	\$ 39.540,75
TOTAL	\$ 340.354,36

FLUJO DE EGRESOS

ANO	\$
1	\$ 4.784,00
2	\$ 4.951,44
3	\$ 5.124,74
4	\$ 5.304,11
5	\$ 5.489,75
6	\$ 5.681,89
7	\$ 5.880,76
8	\$ 6.086,58
9	\$ 6.299,61
10	\$ 6.520,10
TOTAL	\$ 56.122,98

Tabla 19. Diferencia Ingresos-Egresos

INGRESOS - EGRESOS

ANO	\$
1	\$ 24.228,27
2	\$ 25.076,26
3	\$ 25.953,93
4	\$ 26.862,32
5	\$ 27.802,50
6	\$ 28.775,59
7	\$ 29.782,73
8	\$ 30.825,13
9	\$ 31.904,01
10	\$ 33.020,65
TOTAL	\$ 284.231,38

5.5.4. Valor Actual Neto

Los cálculos para hallar el Valor Actual Neto o VAN por sus siglas, se hacen a partir de la siguiente formula:

$$VAN = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n}$$

Tabla 20. Valor Actual Neto - VAN

N	FN	(1+i)^n	FN/(1+i)^n
0	\$ (126.311,14)		\$ (126.311,14)
1	\$ 24.228,27	1,10	\$ 22.025,70
2	\$ 25.076,26	1,21	\$ 20.724,18
3	\$ 25.953,93	1,33	\$ 19.499,57
4	\$ 26.862,32	1,46	\$ 18.347,32
5	\$ 27.802,50	1,61	\$ 17.263,16
6	\$ 28.775,59	1,77	\$ 16.243,07
7	\$ 29.782,73	1,95	\$ 15.283,25
8	\$ 30.825,13	2,14	\$ 14.380,15
9	\$ 31.904,01	2,36	\$ 13.530,41
10	\$ 33.020,65	2,59	\$ 12.730,89
		VAN	\$ 43.716,57

Como podemos apreciar el valor actual neto es mayor que cero, siguiendo la tabla 3 podemos concluir que la inversión producirá ganancias.

5.5.5. Tasa Interna de Retorno

Este método considera que la inversión es aconsejable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor (tasa de descuento).

Por tanto, si la TIR es mayor al 10% que se consideró como tasa de intereses, el proyecto es beneficioso.

Tabla 21. Tasa Interna de Retorno - TIR

Tasa de Descuento	VAN
0%	\$ 157.920,24
5%	\$ 90.151,87
10%	\$ 43.716,57
15%	\$ 10.909,69
20%	\$ (12.925,70)
25%	\$ (30.689,69)
30%	\$ (44.238,76)
35%	\$ (54.792,06)
40%	\$ (63.169,39)
45%	\$ (69.934,22)
50%	\$ (75.481,89)
55%	\$ (80.095,04)
60%	\$ (83.979,39)

5.5.6. Periodo de Recuperación

El periodo de recuperación es el tiempo necesario para recobrar la inversión inicial. Para el caso de estudio el tiempo estimado de recuperación de la inversión es de 3 años.

La evaluación económica nos dice que el periodo de recuperación empieza cuando el VAN/anual es mayor al VAN total del proyecto.

Tabla 22. Periodo de Recuperación

Año	\$	VAN/año
1	\$ 24.228,27	(\$ 22.025,70)
2	\$ 25.076,26	(\$ 42.749,88)
3	\$ 25.953,93	(\$ 62.249,46)
4	\$ 26.862,32	(\$ 80.596,78)
5	\$ 27.802,50	(\$ 97.859,94)
6	\$ 28.775,59	(\$ 114.103,01)
7	\$ 29.782,73	(\$ 129.386,26)
8	\$ 30.825,13	(\$ 143.766,41)
9	\$ 31.904,01	(\$ 157.296,83)
10	\$ 33.020,65	(\$ 170.027,71)
11	\$ 34.176,37	(\$ 182.006,32)

5.5.7. Coeficiente Beneficio- Costo

Es la relación entre el total de ingresos y el total de egresos, para el caso en estudio el valor estimado del coeficiente es 6,06.

5.5.8. Resultados Evaluación Económica

A manera de resumen se presenta la siguiente tabla, en donde podemos exponer que el VAN es un valor mayor a cero por lo tanto el proyecto generara ganancias, la TIR es mayor que la tasa de interés propuesta por tanto la inversión es aconsejable.

El coeficiente beneficio-costos es un valor mayor que 1 lo cual nos indica que el proyecto es beneficioso. Y finalmente que el periodo de recuperación de la inversión inicial es de 3 años.

Tabla 23. Indicadores Económicos

Inversión Inicial	\$ 126.311,14
Tasa de Interés	10,00%
VAN	\$ 43.716,57
TIR	17,10%
Coefficiente Beneficio Costo	6,06
Periodo de Recuperación	3,00

5.6. Evaluación Ambiental

5.6.1. Potencial del Ahorro del Agua Potable

Con la implementación del proyecto propuesto de reutilizar el agua lluvia se puede medir el ahorro de dos maneras que benefician al ambiente como a la comunidad, está por el un lado el ahorro económico como ya se ha visto en el apartado anterior, y se tiene también el ahorro del suministro de agua potable.

5.6.1.1. Consumo mensual de agua potable

El consumo en un mes de agua potable que se destinaria para riego, si no se contara con el sistema de aprovechamiento de agua de lluvia seria de 18,80 m³/día lo que en un mes sería 564,12m³/mes.

En el Ecuador, específicamente en la ciudad de Guayaquil, una persona promedio consume alrededor de 6,5 m³/hab/mes. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2012)

Esto significa que con el ahorro de volumen de agua potable, la industria sería capaz de abastecer a 87 personas durante un mes con este servicio.

5.6.1.2. Costo de suministro mensual de agua potable

Ahora, si hablamos en términos monetarios, se ha dicho que el volumen de agua potable ahorrado es de 564,12m³/mes si el m³ que nos suministra un tanquero tiene un costo de \$6,43/m³, podemos contar con un ahorro de \$3626,53/ mes.

Si el salario mínimo actual está alrededor de los \$354 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2012) con este ahorro mensual se puede generar fuente de ingreso para aproximadamente 10 trabajadores.

El costo de la canasta básica se ubica en los \$628,27 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2012) con el ahorro mensual proyectado se podría abastecer de alimento a 5 familias ecuatorianas.

5.6.2. Huella hídrica

La huella hídrica de una persona, empresa o país se define como el volumen total de agua dulce usada para producir los bienes y servicios consumidos por dicha persona, empresa o país. La huella hídrica se expresa por lo general en términos de volumen de agua utilizada por año (UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2006)

La producción de 1 kilo de:

- arroz requiere 3 m³ de agua
- maíz requiere 0.9m³ de agua
- trigo requiere 1.350 m³ de agua
- carne de vacuno requiere 16 m³ de agua.

Con el ahorro anual de aproximadamente 4500m³ de agua la huella hídrica la industria se disminuiría de tal manera que sería posible producir:

- 1500 kilos de arroz
- 5000 kilos de maíz
- 3000 kilos de trigo
- 280 kilos de carne de vacuno.

Esto es utilizar apropiadamente un recurso, es la base del desarrollo sostenible.

6. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.

La viabilidad y los costos de implementación de un sistema que permita recolectar, almacenar y utilizar el agua lluvia constan de tres aspectos principales: como se vio en apartados anteriores se debe conocer la cantidad de lluvia que dispone la zona estudiada y la demanda para el uso específico que se va a destinar, medir el volumen de agua potable que se ha ahorrado con el aprovechamiento del agua lluvia, y estimar el presupuesto para la construcción del sistema; conociendo esto se puede hacer una proyección del ahorro generado al utilizar el agua de lluvia como solución al riego de las áreas verdes durante la época seca del año.

Basándose en la información recolectada y en los resultados obtenidos, las siguientes son las conclusiones las que se ha llegado:

- El agua lluvia es un recurso de fácil acceso, y los costos son los de recolección, almacenamiento y distribución.
- “La recolección y utilización del agua lluvia reduce los costos pagados a las empresas prestadoras del servicio de agua potable debido a la disminución de los consumos de la misma”. (Palacio Castaneda, 2010)
- Implica el uso de una tecnología social y ambientalmente aceptable.
- El agua captada depende de la precipitación del lugar, la cual puede ser incierta.
- Los altos costos iniciales de construcción del sistema, lo que puede volverlo costoso para algunas personas.
- Los sistemas de almacenamiento y recolección de aguas lluvias pueden ser usados en conjunto con los de agua potable para suplir ciertas necesidades.
- El área de cubierta para captación afecta directamente al diseño de la laguna de almacenamiento.

- Los volúmenes de agua captada van a depender de la cantidad de agua precipitada, es decir, de la estación seca y lluviosa del sitio; y del material de la superficie de recolección.
- La implementación del sistema involucra una significativa inversión inicial.
- La utilización de agua lluvia propone un desarrollo sustentable y un manejo eficiente de los recursos naturales.

Este proyecto le permitirá a Crystal Chemical reducir el consumo de agua potable, generando beneficios económicos al disminuir significativamente el costo de su planilla de consumo de agua potable. También habrá beneficios en el ámbito social y ambiental, evitará el desaprovechamiento del agua lluvia, y el mal uso del agua potable.

6.2. Recomendaciones.

Hay una serie de puntos que convendrían tratar en un futuro, una vez implementado el sistema, como son:

- Investigar el impacto sobre los sistemas de recolección externos de aguas lluvias por la construcción de lagunas de almacenamiento, para el caso en concreto observar qué consecuencias puede traer para el canal de aguas que limita al predio.
- Averiguar otras formas de reutilizar el agua de lluvia, podría ser para actividades de lavado, o abastecimiento de tanque de inodoros.
- Buscar una manera de ayudar a los pobladores del sector, implementado en sus hogares sistemas similares al de aprovechamiento de agua lluvia propuesto, de tal manera que beneficie su actividad productiva, la agricultura.
- Implementar conocimientos de arquitectura y urbanismo para hacer de la laguna de almacenamiento una obra estéticamente agradable.

BIBLIOGRAFÍA

- Armao, H., & Luzardo, E. (Abril de 2011). *Universidad Bolivariana de Venezuela*. Obtenido de <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2301-11-04110.pdf>
- Asociacion de fabricantes de tubos de hormigon armado ATHA. (s.f.). <http://www.atha.es/>. Obtenido de http://www.atha.es/atha_archivos/manual/c4473.htm
- Banco Mundial. (2015). *Promedio detallado de precipitaciones*. Recuperado el 18 de Febrero de 2015, de http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM/countries?display=map?cid=EXT_BoletinES_W_EXT
- Booth, C., Attwater, R., Derry, C., & Simmons, B. (2003). The Hawkesbury Water Reuse. En *Water* (págs. 42-44). Australia.
- Cadena Cepeda, R. (Enero de 1998). *RCadena*. Obtenido de <http://www.rcadena.com/dp/teoria.htm>
- Centro Nacional de Informacion Geografica. (s.f.). *Instituto Geografico Nacional de Espana*. Obtenido de http://www.ign.es/espmap/mapas_clima_bach/Mapa_clima_05.htm
- Chow, V. (1994). *Hidraulica de canales abiertos* (4ta ed.). Mexico.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (2000). *Hidrologia Aplicada*. Mc Graw-Hill.
- Consulambiente. (2014). *Memoria Hidrosanitaria Crystal Chemical*. Guayaquil.
- Coombes, P., Argue, J., & Kuczera, G. (2000). Figtree Place: a case study in water sensitive. En *Urban Water* (págs. 335-343).

- De Graaf, R., Van der Brugge, R., Lankester, J., van der Vliet, W., & Valkenburg, L. (2007). Local water resources and urban renewal: A Rotterdam case study. *6th International Conference on Sustainable Techniques and*. Lyon: France.
- ECURED. (s.f.). *Ecured*. Obtenido de Sistema de Riego: http://www.ecured.cu/index.php/Sistema_de_Riego
- EkoPraxis. (2013). *Estudio de Impacto Ambiental DUPOCSA S.A. Construccion Operacion y Abandono*. Duran.
- Estupinan, J. L., & Zapata, H. O. (Diciembre de 2010). Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. Bogota, Colombia.
- Fernandez, B., & Rivera, P. (2000). Paper Presented at the Analisis experimental de la modelacion hidrológica de cuencas urbanas. *XIX Congreso Latinoamericano de Hidraulica*, (págs. 33-38). Córdoba.
- Herrera Monroy, L. A. (2010). *Instituto Politecnico Nacional*. Recuperado el Septiembre de 2014
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (Junio de 2012). *Ecuador en cifras*. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Ambientales2012junio/Presentacio_Junio%202012.pdf
- INTERAGUA. (2001). *Plan Operativo*. Guayaquil.
- Lavanda Reategui, D. G. (2005). *Universidad Inca Garcilaso de la Vega*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos26/proyecto-ampliacion/proyecto-ampliacion.shtml>

- Mendez Zuniga, X. (2012). *Analisis comparativo entre un sistema convencional de alcantarillado pluvial y uno que contenga depositos de regulacion para el agua lluvia, ubicada en las viviendas*. Guayaquil, Guayas, Ecuador. Recuperado el 2014
- Mesanza, A. (2011). Aprovechamiento de agua de lluvia. *EcoHabitar*.
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (2014). *Sistema Nacional de Indicadores Ambientales*. Obtenido de <http://licenciamiento.ambiente.gob.ec:8090/environmentalIndicators/pages/welcome.jsf>
- Moreno, E. (20 de Mayo de 2013). *MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA EDUCACIÓN*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/isnelvi/calculo-de-precipitacion-media-en-una-cuenca>
- Pacheco Montes, M. (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL):. *Revista Internacional Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 18.
- Palacio Castaneda, N. (14 de Julio de 2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Institucion Educativa Maria Auxiliadora de Caldas. *Gestion y Ambiente*, 1-16.
- Puga Muñoz, M. (2011). *Universidad Arturo Prat del Estado de Chile*. Recuperado el 2015, de <http://www.mpuga.com/docencia/Fundamentos%20de%20Finanzas/Van%20y%20Tir%202011.pdf>
- Rodriguez, E., Camacho, L., & Villareal, J. (2008). Paper presented at the Variabilidad espacio-temporal de la precipitacion en un microcuenca

urbana. *XVIII Seminario Nacional de Hidraulica e Hidrologia* , (págs. 30-50). Bogota.

Soluciones Hidropluviales. (2010). *hidropluviales.com*. Obtenido de <http://hidropluviales.com/?p=625>

Soluciones Hidropluviales. (2013). *Hidropluviales*. Recuperado el Seotiembre de 2013, de <http://hidropluviales.com/?p=204>

Telegrafo, E. (16 de Junio de 2014). La huella hídrica. *El Telegrafo*.

UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (23 de Junio de 2006). *UNESCO*. Obtenido de http://www.unesco.org/water/news/newsletter/145_es.shtml

Uribe Celis, M. A., & Amaya Sierra, J. C. (2007). *Universidad de La Salle*. Obtenido de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/15390/1/T40.07%20U3d.pdf>

ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. <i>Vista Satelital de la ubicación del proyecto</i>	49
Anexo 2. <i>Diseño Sanitario - AAPP</i>	52
Anexo 3. <i>Diseño Sanitario - AASS</i>	53
Anexo 4. <i>Diseño Sanitario - AALL</i>	55
Anexo 5. <i>Implantación General del proyecto</i>	56
Anexo 6. <i>Implantación Áreas de Captación</i>	57
Anexo 7. <i>Implantación- Áreas Verdes</i>	61
Anexo 8. <i>Sistema de Riego</i>	62
Anexo 9. <i>Jardines – especies</i>	62
Anexo 10. <i>Ubicación de laguna de almacenamiento</i>	65