

Forestación alternativa para tratamiento de efluentes en planta cloacal de Villa Huidobro



AREA DE CONSOLIDACION
GESTION AMBIENTAL
Y PRODUCCION SOSTENIBLE.

AÑO 2020



Agradecimientos

A mi tutora Ing. Agr. Mgter. Dorado Mónica. Con su máxima predisposición y desinterés me ha brindado todo su conocimiento. Su colaboración y apoyo ha sido preponderante en todo esto.

Al Ing. Agr. Marcos Crisafulli Sánchez, quien supo motivarme y acompañarme en la primera etapa de este trabajo

Al Ing. Agr. Esp. Ing. Ambiental Dutto Jorge por dirigir el área de Gestión ambiental y producción sostenible.

A la Ing. Agr. Susana Siwinsky por sus clases, de las que recopilé mucha información, además de su ayuda para conseguir otros datos necesarios.

A la Empresa Marinelli S.A. por haber confiado en mí, pese a haber tenido poca práctica.

Al Municipio de Villa Huidobro que continuamente brindó su apoyo e interés al proyecto.

Y finalmente y no menos importante, a mis seres queridos, mi familia y amigos, ya que sin su apoyo e incentivo, no podría haber logrado no sólo este proyecto culmine, si no la formación completa en la carrera de Agronomía.

iiiiA todos, muchísimas gracias!!!!

RESUMEN

Este trabajo brinda una solución a los efluentes de una planta cloacal de la localidad de Villa Huidobro, a unos 450 km al Sur de la ciudad de Córdoba (Departamento General Roca) dándole al agua de desecho un destino productivo. Esto es, ser sustento de un sistema de riego para bosques cultivados con álamos, sin que sea perjudicial para el medio ambiente. La inclusión de esta temática redonda en abordajes concretos de los ODS 11, 13 y 15 con el consecuente impacto positivo en el ambiente. Durante el diseño y ejecución de este trabajo se analizaron variables edáficas, climáticas, biológicas, hídricas, socioeconómicas. Se efectuaron análisis de suelos, pendientes y cantidad de agua de desecho. Se realizó una plantación de álamos por sus aptitudes, adaptación, así como por ser una especie pionera, de gran adaptación y plasticidad, de rápido crecimiento, por sus requerimientos agroecológicos, por ser económica, de sencilla obtención y reproducción de germoplasma de calidad (tanto estacas como barbados). Se optó por un marco de plantación de 3 metros por 3 metros, con surcos de 1,5 metros de distancia entre ellos, y de 400 metros de largo, para que el desplazamiento del agua superficial de riego (efluente cloacal) corra gravitacionalmente por surcos logrados con mínimos movimientos de preparación tierra (pendiente de 0,6%). Los mismos quedaron consolidados al tercer o cuarto riego, debido a la cantidad de arcilla del perfil, que es del 0.6% promedio, valor que está dentro de los parámetros modales de la zona. El modelo diseñado e implantado permitió el recupero de efluentes y el crecimiento de una masa boscosa promisoría. Este desarrollo aplicado es una clara evidencia de la factibilidad del uso eficiente y responsable al agua de desecho de la planta cloacal de la localidad de Villa Huidobro en plantaciones forestales cultivadas bajo riego con este tipo de agua, siendo esta práctica amigable con el ambiente y constituyéndose en una estrategia que no es perjudicial para el terreno superficial ni contaminante de las napas.

Palabras clave: forestación, efluentes cloacales, riego

Índice general de contenidos.

Agradecimientos	pág 2
Resumen	pág 3
Introducción	pág 6
Objetivos	pág 7
Materiales y métodos	pág 7
Caracterización zonal. Clima	pág 7
Suelos	pág 8
Sistema existente	pág 8
Descripción del método	pág 9
Caracterización topográfica	pág 10
Plantación	pág 10
Diseño del sistema de riego	pág 11
Calidad del agua de riego con líquidos tratados	Pág 13
Resultados	Pág 13
Propuesta de mejora	Pág 15
Vínculo del proyecto con ODS	Pág 16
Conclusiones	Pág 15
Bibliografía	Pág 17
Anexo fotográfico	pág 18

Índice de figuras.

Figura 1. Variación anual de Lluvias y Temperatura en zona de Villa Huidobro	pág 7
Figura 2. Mapa de suelos correspondiente a Villa Huidobro	pág 8
Figura 3. Perfiles laterales del riego tradicional vs. Discontinuo	pág 9
Figura 4. Esquema de la forestación y ala regadora discontinua	pág 10
Figura 5. Esquema de sistema de riego discontinuo, vista en planta	pág 12
Figura 6. Plantación con álamos, vista sistema de riego con efluentes	pág 14
Figura 7. Plantación perimetral, vista sistema de riego con camión	pág 15
Figura 8. Representación esquemática primer pulso de riego	pág 19
Figura 9 Tareas de hoyado mecánico con hoyadora manual primeros 3100 ejemplares	pág 20
Figura 10 Tareas de hoyado mecánico con hoyadora acoplada a tractor	pág 21
Figura 11 Tareas de acondicionamiento y traslado de estacas y barbados	pág 22
Figura 12 Tareas de nivelación del terreno y marcado de surcos y camellones	pág 23
Figura 13 Traslado del germoplasma	pág 24
Figura 14 Eficacia de la labor. Plantación realizada sin pérdidas iniciales	pág 25
Figura 15 Grupo de trabajo, orgullosos por la labor cumplida	pág 26

INTRODUCCION

Numerosos autores destacan la importancia del uso racional de aguas residuales. En este sentido, Tesón et al (2017) refieren a *“la reutilización de las aguas residuales para el riego presenta numerosas ventajas entre las que se destacan la conservación de los recursos hídricos y el aporte continuo de nutrientes y agua para las plantas”*

La gestión de los residuos, en especial los cloacales, es uno de los temas ambientales de relevancia a nivel mundial. A medida que avanza la densidad poblacional, las cantidades de estos residuos crecen. No siempre se diseñan buenas estrategias para su manejo. De modo que, ante una mala gestión de los líquidos residuales de la población, se registran graves problemas de salubridad en la población.

Con miras a esta problemática Román P. (2014) cita que *“el uso del agua ha crecido globalmente más del doble del índice del crecimiento poblacional. Numerosas regiones están alcanzando el límite de uso sostenible de agua. El reúso de las aguas no puede verse desde un solo sector, como la agricultura, se requiere de una perspectiva más amplia que considere las ciudades y el medio ambiente. Estos tres actores son interdependientes en el ciclo del agua y por tanto, la cooperación entre ellos es fundamental para que proyectos de reúso cobren sentido.”*

La citada problemática, toca de cerca a los municipios y a sus ciudadanos. Hace falta una adecuada gestión de estos recursos para no impactar algunos otros recursos naturales. Al respecto, algunos descriptores de un mal manejo de estos efluentes son el ascenso del nivel de napa y la colmatación de pozos, afectando pavimentos, veredas, cimientos de las construcciones y la calidad de vida de los lugareños. Ante esta problemática la Municipalidad de Villa Huidobro se plantea la necesidad de la eliminación de los actuales métodos de evacuación, el sistema actual que se utiliza en el pueblo es de cámara séptica y pozo absorbente. En ese sentido y en búsqueda de soluciones amigables con el ambiente analiza, diseña y propone una nueva disposición para el uso de efluentes cloacales. Estas estrategias tienen amplio aval a nivel internacional. Así Tesón et al (2017) citan que *“ la reutilización de los efluentes para el riego de plantaciones forestales podría ser una alternativa al vertido de efluentes en las aguas superficiales”*.

El uso de efluentes cloacales para riego de producciones ya sea de cultivos intensivos, extensivos o forestales, tiene muchos años de uso e investigación. En este caso, nos centramos en el uso para forestación, y el método de riego es por surco, aunque también se pueden usar riego por aspersión o por goteo.

El procesamiento de este tipo de aguas pasa por distintas etapas de filtrado. Esto ocurre en las plantas de tratamientos en las que se desarrollan distintas etapas, tales como, proceso de cloración seguidos de un tiempo de permanencia adecuado en las lagunas de estabilización facultativas, lo que permite lograr aguas casi cristalinas, libres de parásitos, bacterias y virus y además tienen la ventaja de poseer importantes cantidades de nutrientes. Estos aportes de nutrientes, principalmente se refieren a nitrógeno y fósforo, fundamentales para el desarrollo de las especies a plantar. De esta manera se acelera el crecimiento de los árboles en comparación de una forestación en secano. Gracias al aporte extra de nutrientes la corta final (tala) para comercialización será en menos tiempo, adelantando el turno de corta a la edad de 15-20 años con un aumento de la rentabilidad del sistema.

La necesidad de resolver la problemática descrita, y de verter las aguas cloacales en un sistema productivo conduce a plantar un bosque cultivado con álamos y regado con este tipo de efluentes. Cabe destacar que la selección de los álamos para este planteo productivo obedece a las características deseables de los mismos. A saber: especie pionera, con capacidad

de rebrote, con gran profundidad de raíces que puede alcanzar los 6 m de profundidad, y según la densidad que se plante, pueden evapotranspirar mucha agua. También contribuyen sin duda a disminuir el ascenso de napas freáticas, ya que tienen gran capacidad de absorción radicular en profundidad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar de un sistema modelo de absorción de líquidos cloacales por medio de la forestación con álamos piramidales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar un sistema de riego forestal con uso eficiente y responsable al agua de desecho de la planta cloacal.
- Reconocer al método de tratamiento de efluentes para riego forestal, velando que no sea perjudicial para el terreno superficial ni contaminante de las napas.
- Implementar un sistema de producción forestal regado con aguas residuales que permita en los próximos 15-18 años el municipio la generación de ingresos económicos con la tala rasa de los álamos.

MATERIALES Y METODOS

CARACTERIZACION ZONAL

Clima

El clima es cálido y templado en Villa Huidobro. La temperatura promedio en Villa Huidobro es 16.7°C. La variación en la temperatura anual está alrededor de 16.3°C. El mes más caluroso del año con un promedio de 24.8°C es enero. A 8.5°C en promedio, julio es el mes más frío del año.

En el año, la precipitación media es 621 mm. El mes más seco es julio, con 14 mm. En diciembre, la precipitación alcanza su pico, con un promedio de 87 mm. La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 73 mm.

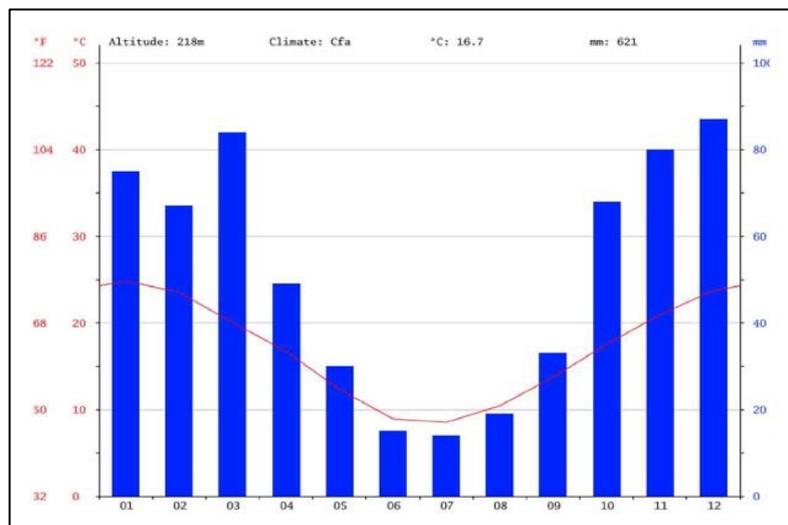


Figura 1. Variación anual de Lluvias y Temperatura en zona de Villa Huidobro

Suelos

En general, los suelos están desarrollados sobre materiales ricos en arenas, y muestran un grado bajo de desarrollo y evolución, con poca diferenciación de horizontes. Desde una perspectiva funcional, son suelos poco profundos, excesivamente drenados, sin agregación y pobremente estructurados, con bajo contenido de materia orgánica.

En general, los suelos arables pertenecen a las Clases de Aptitud de Uso III y IV del sistema del USDA, es decir intensidad de sus limitaciones definen una vocación marginalmente agrícola para esas tierras. Más del 40% de los suelos de la región son Entisoles (entre los cuales son dominantes los Ustipsamments típicos), precisamente la clase taxonómica que agrupa a este tipo de suelos jóvenes sobre materiales arenosos.

En las áreas bajas y mal drenadas y en aureolas de lagunas permanentes y semipermanentes que ocupan las cubetas de deflación de los médanos, hay Alfisoles (Natracualfes típicos, N. mólicos y Fragiacualfes), que son suelos de baja productividad, generalmente dedicados a una ganadería extensiva, debido a limitaciones de drenaje, alcalinización y salinización.

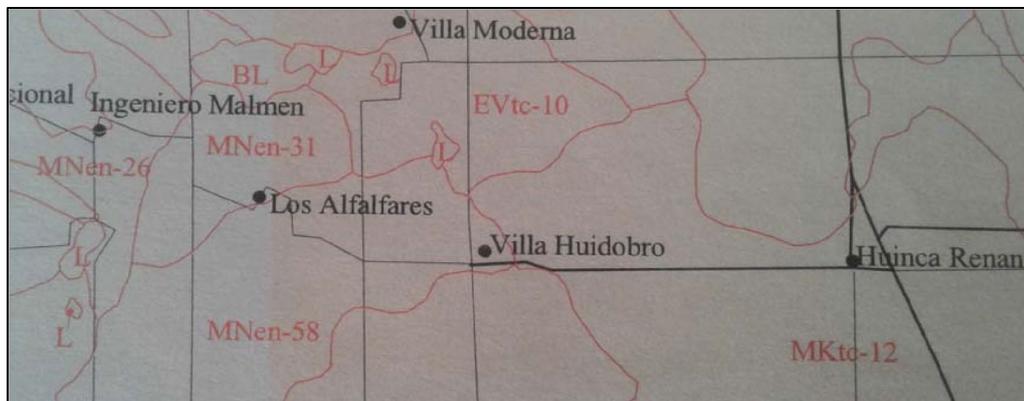


Figura 2. Mapa de suelos correspondiente a Villa Huidobro

Sistema existente

En la localidad de Villa Huidobro los efluentes cloacales son evacuados a través de instalaciones domiciliarias internas compuestas por cámaras sépticas y pozos negros.

Este tipo de sistema, acompañado por las características del suelo, hace que estos pozos infiltren. Como consecuencia, las napas han ascendido y se van contaminando, poniendo en riesgo la salud de los pobladores.

El estado sanitario actual de la población es bueno, ya que no se registran datos negativos en los centros hospitalarios, pero si es notorio el aumento de viajes de los camiones atmosféricos. De continuar esta contaminación y teniendo en cuenta el crecimiento poblacional, las futuras generaciones se verán afectadas de no tomar medidas que solucionen de raíz el problema.

Generalidades

Siguiendo las pautas de la Organización Mundial de Salud, de que los sistemas de riego para la utilización de líquidos cloacales tratados deben ser por surcos o por goteo, se eligió el método de caudal discontinuo o también llamado riego por pulsos. El mismo se realizó por surcos, debido a su alta eficiencia de aplicación (hasta un 85 %), ya que asegura un perfil de mojado bastante uniforme a lo largo de los surcos. De esta forma se evita la percolación profunda en la cabecera de los surcos, no comprometiendo la contaminación del nivel freático.

Se descartó el riego por aspersión debido a un supuesto peligro de contaminación por la deriva del viento producida por este método presurizado. Por otra parte, el riego por goteo también ha sido descartado por el alto costo por hectárea y costo de mantenimiento del correcto funcionamiento de los picos.

La utilización del sistema de riego discontinuo planteó una alternativa sencilla y de fácil aplicación, ya que no requiere filtrado después de las lagunas de estabilización facultativa. Funciona exclusivamente con la energía de la gravedad. Es decir, se trata de un método de riego totalmente ecológico y no contaminante, ya que no requiere de bombeo adicional.

Sin embargo, en el caso de Villa Huidobro, debido a que la cámara de cloración cuenta con muy poca altura de dominio, se necesitó un mínimo bombeo.

Descripción del método

Consiste en aplicar el agua a 11 surcos usando tuberías de PVC, con aberturas o compuertas enfrentadas a los surcos. Al cabo de cierto tiempo (generalmente cuando ha llegado a la tercera o cuarta parte de la longitud del surco), el agua es derivada al sublote de surcos, que serían los otros 11 surcos.

Esto lo hace mediante una válvula mariposa en forma de té que tiene la capacidad de derivar el agua en dos direcciones. Esta válvula es accionada por una computadora que posee la energía necesaria almacenada en un panel solar. Después de haber avanzado el agua en el otro sector hasta la misma distancia del primer sector, la válvula deriva nuevamente el caudal hacia el primer conjunto de surcos. Este procedimiento se repite 3 a 4 veces, avanzando el agua en cada pulso a distancias constantes mediante tiempos incrementales que le da la computadora.

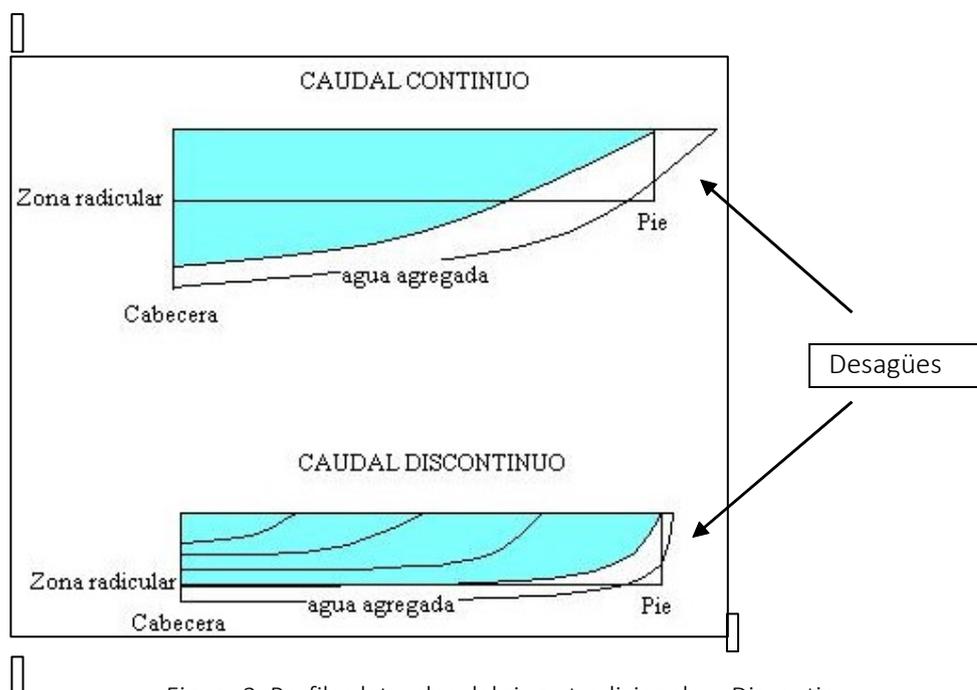


Figura 3. Perfiles laterales del riego tradicional vs. Discontinuo

De esta manera, el agua llega al final de los surcos mucho más rápido que lo haría en forma tradicional. Se puede afirmar que está llegando al final de los surcos en aproximadamente el mismo tiempo que le demandaría hacerlo en forma continua, pero regando el doble de surcos usando el mismo caudal. Las eficiencias de aplicación en este sistema oscilan entre un 80 a 85% (al cabo de un tercer riego), dependiendo principalmente de la textura y pendiente.

Caracterización topográfica

La topografía ondulada reinante en el lugar obligó a subdividir los lotes y diseñar un riego gravitacional por surco acorde con las pendientes de escurrimiento máximas no erosivas. Se fijó un rango de pendientes que varía entre el 0,2 % y el 0,8 % para no producir erosión no por el riego, sino por la ocurrencia de precipitaciones intensas. Con estas pendientes fue posible vencer en forma aproximada estos inconvenientes de los micro relieves, realizando mínimos movimientos de suelo con rabastos y/o moto niveladora, trabajando a una pendiente natural promedio corregida. Lo ideal hubiera sido trabajar con el 0,6 % de pendiente en dirección longitudinal a los 400 m de largo hacia el sur que tendrá la longitud de los surcos. Para la orientación de las alas regadoras se eligió la menor pendiente (este-oeste), mientras que para la conducción se eligió la mayor pendiente (norte-sur), trabajándose de esta manera con el menor diámetro posible de las tuberías de PVC compensando así las pérdidas de carga que se originen.

Plantación

Teniendo en cuenta el uso consuntivo de álamo, unos 1000 mm anuales, se dispuso el marco de plantación, según cálculos, de 3 metros por 3 metros, con surcos de 1,5 metros de distancia entre ellos, y de 400 metros de largo, donde correría el agua, ya que con movimientos de tierra logramos una pendiente de 0,6%. De esta manera la cantidad de árboles plantados fue de 2.300 en la primera etapa, previendo ajustes por comportamiento silvicultural en etapas posteriores.

Para esa cantidad inicial de álamos, está cubierta su necesidad hídrica, sabiendo la dotación del sistema de efluentes y las precipitaciones en la región. En el caso de que haya un excedente de efluentes, se usaría eventualmente para regar las cortinas perimetrales como ya se mencionó. Estas cortinas rompevientos protectoras de las derivas deberían ser dobles en una disposición en tresbolillo. La primera interna con ciprés lambertiana con un distanciamiento de 2 m entre plantas sobre la hilera y la segunda externa con casuarinas distanciadas también a 2 m sobre la hilera. Ambas hileras distanciadas 3 m entre sí.

En el futuro consumo de agua por parte de la especie forestal elegida, es importante considerar el nivel freático, que históricamente se ha situado a 3,3 m desde la superficie del terreno. Sin embargo, este nivel puede subir a valores de 1,5 m en años de muchas lluvias. La elección del método de riego discontinuo que aumenta el coeficiente de uniformidad a lo largo del surco y la capacidad de absorción que tiene el álamo en sus raíces, evitan el problema del ascenso de la freática en años muy lluviosos. Otro aspecto muy importante a tener en cuenta frente a un exceso de oferta debido a un aumento inesperado de la población fue la posibilidad de aumentar el consumo de agua del álamo, mediante un aumento de la densidad de plantas por hectárea que se plantaron..

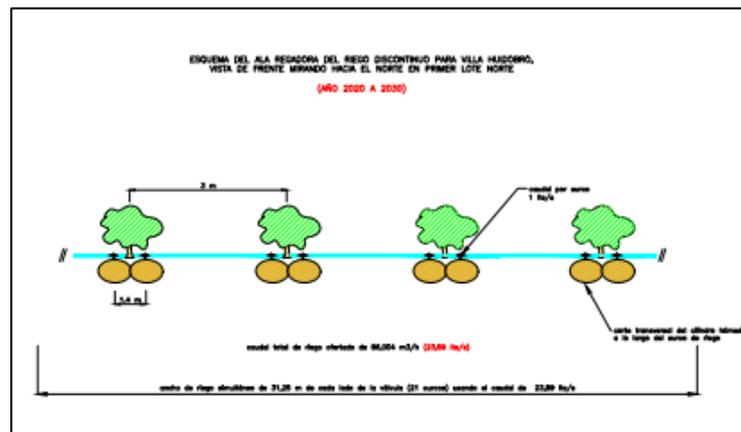


Figura 4. Esquema de la forestación y ala regadora discontinua

Diseño del sistema de riego

Se diseñó un sistema de riego para trabajar con la altura media de agua de las últimas lagunas, situadas al norte de los lotes a regar. El objetivo principal fue no usar bombeo adicional al sistema, aprovechando la energía gratuita de la gravedad, pero debido a que se dispondrá de muy poca altura remanente en la cámara de cloración, se usará un mínimo bombeo.

Se trabajó con una altura media de columna de agua de 1,50 m en las lagunas. El abastecimiento al equipo de riego se realizó por intermedio de válvulas mariposa, para la adecuada sectorización del sistema. Se propuso la división en 2 pares de sublotes de menor superficie, a los fines de que puedan regarse de a pares con riego discontinuo. Otro de los motivos de la subdivisión de lotes se debió a una mejor adaptación del método de riego a un relieve ondulado adverso.

Desde la cámara de cloración, se usó una bomba centrífuga del tipo de las diseñadas para líquidos de esta naturaleza o en su defecto bomba de achique. El motivo de usar bomba fue la topografía en contra hacia el ángulo noreste. Se dispuso una conducción enterrada (con el uso de 4 curvas de PVC de 45° de diámetro 160 mm) hasta el punto más alto del lote norte, situado según el plano de curvas de nivel, en el ángulo Noreste. En el ángulo Noroeste, se colocó una válvula de riego discontinuo de 6" de diámetro después de una te del mismo diámetro y después de una válvula mariposa de sectorización de las áreas de riego.

Desde allí (ángulo noreste) y después de la válvula de riego discontinuo, se incluyó doble ala regadora de PVC de diámetro 160 mm ubicadas en sentido este-oeste a favor de la pendiente.

Se utilizaron tuberías de PVC Clase 4 Kg/cm² sin tratamiento anti - ultravioleta de dióxido de titanio (ya que irán enterradas en profundidad y en superficie), de color celeste, blanco o gris, de un diámetro exterior de 160 mm y de una longitud bruta de 6 m cada tubo. Estos tubos correspondientes a las alas regadoras llevaron compuertas para surcos distanciadas aproximadamente 1,5 m (cada compuerta será responsable de abastecer 1 surco de riego).

Estos tubos tuvieron las siguientes dimensiones: 5,85 m de longitud neta, poseyendo una campana o hembra de aproximadamente 20 cm de longitud. Los tubos se colocaron dentro de otros sin ningún inconveniente 10 a 15 cm. Se incluyeron también aros de goma fijos, lubricados con lubricante específico o con pasta hecha con jabón de lavar la ropa común. Al final de estos tubos de 160 mm de diámetro correspondientes a las alas regadoras, se colocaron tapones finales hembra del mismo diámetro anclados con una estaca común simplemente por razones de seguridad en cuanto a un posible robo del material. Cabe destacar que todos los tubos de PVC estuvieron cubiertos con tierra. De modo que, la conducción estuvo enterrada a 60 cm de profundidad y las alas regadoras estarán semienterradas en superficie, con un aporcado de 20 cm por encima de nivel de piso. Las estructuras subterráneas se visualizaron a campo como un bordo el cual será mantenido con pasto debidamente cortado el cual evitará la erosión de este aporcado de tierra por encima de las alas regadoras.

Cada tubo de PVC de estas características como ala regadora incluyó orificios circulares de 50 mm para insertar compuertas para surcos de cierre y regulación manual, a los fines de ajustar el caudal por surco que se necesitó. La apertura de paso del agua de estas compuertas fue un cuadrado de PVC el cual tenía un círculo de 50 mm de diámetro interior con una ventana de apertura y cierre tipo guillotina. El objetivo fue usar surcos distanciados entre sí 1,50 m, a los fines de regar 2 surcos por hilera de árboles. Como la salida del agua por esta compuertita pudo producir erosión en la cabecera del surco, se usaron calcetines anti erosivos de polietileno (P.E.) mono capa blanco de 1,2 m de largo y de 300 micrones de espesor. Los mismos se construyeron con mangas de P.E. de 5" de diámetro los cuales tendrán que ser insertados a las compuertitas de PVC.

A los fines de lograr un correcto desempeño hidráulico en la conducción, se incluyó la colocación de una válvula de aire de 1" de diámetro, después de la válvula mariposa que colocada al sur de la te en el ángulo noreste de todo el lote a regar.

La metodología de riego por surcos permitió diseñarlos con una sección semicircular, con una profundidad mínima de 15 cm. y un ancho de 20 cm. Esto se logró con la utilización de los rastrillos limpia surcos usados en siembra directa que poseen una bala semicircular que conforma un perímetro mojado perfecto.



Figura 5. Esquema de sistema de riego discontinuo, vista en planta

Cada cuerpo de estos rastrillos incluyó una hoja circular raviolera que cortaba y separaba la hojarasca y rastrojo, 2 discos dentados que separaban este material seco de la base del surco, una reja para rehacer y mantener el surco de riego y una bala pesada de 1,2 m aproximadamente para compactar la base del surco y lograr el mayor perímetro mojado posible en el surco de riego. Estos rastrillos se utilizaron para realizar mantenimiento en la limpieza de los surcos, por la hojarasca que caiga de los árboles. Por otra parte, la compactación de la base del surco con la utilización de estas balas pesadas fue fundamental a la hora de uniformizar lo más que se pueda, el perfil mojado a lo largo del surco.

Se trabajó con el caudal máximo no erosivo por surco para la pendiente máxima en el sentido del riego. Se tendrá que aplicar la fórmula empírica de Criddle que expresa que el caudal máximo no erosivo por surco es:

$$Q \text{ máx. no erosivo en lts/s} = 063 / \text{Pendiente en \%}$$

Es decir que, si la pendiente se establece en 0,6%, el caudal teórico por surco no debería ser mayor a 1,05 lts/s.

La lámina de reposición edáfica de cada riego, se calcula teniendo en cuenta las constantes hídricas, la densidad aparente del suelo, la profundidad radicular y las pautas de extracción diferencial de cada horizonte. Sin embargo, se adoptará el criterio de aplicar láminas o dosis brutas de acuerdo a la faz operativa del sistema, es decir priorizando los tiempos de aplicación en 24 hs. El hecho de realizar los cambios de sets de riego (apertura y cierre de las compuertitas de cada surco, como así también el apagado y prendido de la computadora) una vez al día, facilita la operación del sistema. Este horario más cómodo será usado por el personal de campo, en este caso dedicado al riego.

Las láminas brutas variarán según vaya aumentando la oferta de estos líquidos con el correr de los años. Se ha adoptado el criterio de considerar un caudal ofertado entre los años 2020 a 2030 de 23,89 lts/s = 86,004 m³/h.

Calidad del agua de riego con líquidos tratados

Según antecedentes recogidos de otros emprendimientos referentes a los análisis del agua de los efluentes, la calidad de agua para riego desde el punto de vista físico químico, generalmente es recomendable para riego con reservas. La cantidad de sales totales, hacen que el agua tenga que usarse con cuidado en condiciones de suelo permeable. Fue de fundamental importancia entonces contar además de la conductividad del agua en decisiemens/m (dS/m) medida en los análisis, con los indicadores de Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y el Carbonato de Sodio Residual (CSR).

RESULTADOS

- El sistema de riego de caudal discontinuo resultó ideal para las condiciones de aguas marginales. No hubo percolación profunda que comprometa en ningún momento el nivel freático con la longitud de surcos elegida de máximos de 400 m. En segundo lugar, no hubo desagües al pie de los mismos, debido al manejo de un software que tiene la computadora sobre la válvula de caudal discontinuo. Y, en tercer lugar, siempre el agua estuvo durante el riego, la mitad del tiempo en el suelo, debido a la intermitencia del mismo sistema de riego.
- Asimismo, una precipitación efectiva durante el año que sea superior a 50 mm se encargó de lavar el perfil de las sales que puedan acumularse, teniendo en cuenta la textura franca y franco arenosa de los suelos que se regarán. Esto va a ser válido para índices RAS menores a 10.
- Se determinaron las dosis de lámina bruta y lámina neta, resultando

Lámina (Dosis) Bruta durante los años de riego 2020 a 2030:

Lám. Bruta = $86,004 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ hs}$ = 80 mm

Los sectores 1 y 2 se regaron en 1 día.

Longitud promedio del lote norte: 400 m (longitud de surcos)

Surcos regados por vez en los sectores 1 y 2: 22, con un espaciamiento promedio de todos los surcos donde circula el agua de 1,5 m.

Lámina neta

Después de un tercer riego en adelante, cuando se supuso que los surcos se han asentado, se puede lograr una eficiencia de aplicación del 80 %, por lo tanto, la lámina o dosis neta quedó:

Lámina neta = $80 \text{ mm} \times 0,8 = 64 \text{ mm}$

- Se visualizó una rápida disminución de la velocidad de infiltración del agua en el suelo. La explicación de este fenómeno se debe a que entre un pulso y otro se produjo un disgregamiento de terrones, un reacomodamiento de partículas y una migración de sedimentos que sellan la base del surco. Por otra parte, al haber una interrupción de suministro de agua, quedó aire atrapado en los poros del suelo que hizo las veces de un colchón neumático. Ambos efectos facilitaron el rápido avance del agua.

- Se determinó la lámina de reposición edáfica de cada riego, teniendo en cuenta las constantes hídricas, la densidad aparente del suelo, la profundidad radicular y las pautas de extracción diferencial de cada horizonte. Las láminas brutas variarán según vaya aumentando la oferta de estos líquidos con el correr de los años. Se adoptó el criterio de considerar un caudal ofertado entre los años 2020 a 2030 de 23,89 lts/s = 86,004 m³/h.
- Teniendo en cuenta la oferta de agua de los líquidos cloacales tratados, se visualizó un volumen máximo diario de 23,89 lts/s para el año 2020 y se proyectó un caudal de 28,19 lts/s para el año 2040; hecho muy conveniente y consistente con la elección de una especie arbórea de alto consumo de agua, como lo fue el álamo.
- Antes de comenzar con las obras de las lagunas y el riego, se reacondicionó la cobertura arbórea preexistente de olmos, ciprés y pinos, en todo el perímetro por fuera de lo que comprende el área de lagunas y el área de riego. Esta cortina colindante añosa, junto con la implantada, se logró:
 - a) Aislar toda esta superficie de toda el área urbana por posibles olores que se puedan producir en las lagunas causadas por deriva de viento.
 - b) Proteger a la forestación (sobre todo en los primeros años) de fuertes vientos que puedan voltear los árboles recién implantados.
 - c) Tener un fusible adicional para absorber excesos de oferta de los líquidos tratados.
- En el caso de la especie elegida, el álamo piramidal tiene un uso consuntivo de 1000 mm anuales por planta, por lo tanto, no se observaron inconvenientes en aplicar el volumen máximo hídrico. Adicionalmente y como fusible de los excesos de oferta de efluentes para riego, se implantaron ejemplares de ciprés y casuarinas de buen desarrollo en la zona, y por ser especies que estarán en condiciones de ser aprovechadas en corto ciclo de cultivo.
- Hasta el momento, la plantación de álamos está en perfectas condiciones, siendo suficiente el riego que se le brinda por medio de los camiones cisterna del municipio, las pruebas de funcionamiento de la planta de tratamientos de efluentes y las precipitaciones en la zona.



Figura 6. Plantación con álamos, vista sistema de riego con efluentes



Figura 7. Plantación perimetral, vista sistema de riego con camión

- En el caso de las cortinas perimetrales de ciprés y casuarinas, se observa un buen desarrollo de las mismas, no obstante, se riegan con camión cisterna, ya que no está en plena producción la planta cloacal, por ende, no hay exceso de líquidos cloacales para poder regarlas.
- El efecto visual de estas cortinas de estas especies en los perímetros colindantes a la vecindad, como así también al camino público, también contribuirán a un impacto ambiental positivo.

Propuestas de Mejora.

- Dado que los escenarios futuros serán diferenciales, las estrategias de manejo del riego, evolucionarán de acuerdo al escenario que se vaya presentando con el correr de los años. Por lo que sería interesante pensar en nuevas opciones para el recupero de estos efluentes y otras alternativas de pretratamientos de los mismos.
- Sería interesante, en este caso el tiempo fue tirano, compartir y exponer de manera masiva, los resultados con el fin de que los demás municipios zonales, se sientan motivados y realicen acciones similares o superadoras.
- Otra propuesta de mejora sería la inclusión (ensayo de introducción) de otras especies forestales promisorias para la zona.
- Otra alternativa de mejora sería realizar una valoración inicial y una final de la fertilidad de los suelos

Vinculación de la temática del proyecto con los ODS

Este proyecto se vincula con los ODS citados debajo. Así el reuso de aguas residuales en los municipios se ubica en la línea del ODS 11, mientras que la forestación (como estrategia de mitigación de GEI es un modo de combatir el cambio climático, su abordaje va en la línea de ODS 13 y la inclusión de masas forestales cumple ampliamente con el ODS 15

De modo que este trabajo se vincula con los siguientes ODS

ODS 11 Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles

ODS 13 Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

ODS 15 Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de tierras, detener la pérdida de biodiversidad

Conclusiones

La selección adecuada de una especie forestal de características pioneras, de rápido crecimiento, con un elevado uso consuntivo de agua, el uso de germoplasma adaptado a la zona, en forma conjunta con adecuadas prácticas de forestación bajo riego, permitió elaborar un diseño, un sistema modelo de absorción de líquidos cloacales por medio de la forestación con álamos piramidales, así como también la implementación de un sistema de producción forestal que no sólo redunde en beneficios ambientales, sino que en el mediano plazo generará ingresos económicos a la Municipalidad de Villa Huidobro.

Este desarrollo aplicado es una clara evidencia de la factibilidad del uso eficiente y responsable al agua de desecho de la planta cloacal en la localidad de Villa Huidobro en plantaciones forestales cultivadas bajo riego con este tipo de agua, siendo esta práctica amigable con el ambiente y constituyéndose en una estrategia que no es perjudicial para el terreno superficial ni contaminante de las napas.

BIBLIOGRAFIA

- Área Forestal Provincia, Mendoza, Dirección Nacional de Desarrollo Foresto-Industrial e INTA (2019) Producción forestal: analizan especies y clones para mejorar rendimientos. Recuperado de <https://www.mendoza.gov.ar/prensa/produccion-forestal-analizan-especies-y-clones-para-mejorar-rendimientos/>
- Arboricultura (2020) Apuntes teórico, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.
- Besteiro, Sebastián (2014.). Evaluación de la influencia hidrogeológica de forestación en la Llanura Pampeana. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. UNLP.
- Bresiano, A., Boldrini E., Roqué Ca., Schoulund H. y A, Díaz (1999.) Saneamiento de líquidos cloacales y mejoramiento ambiental para la ciudad de Villa Carlos Paz. Municipalidad de Villa Carlos Paz. Provincia de Córdoba, Argentina.
- Borodowsky E (2017) Situación actual del cultivo y uso de las Salicáceas en Argentina. Recuperado de <http://deltaforestal.blogspot.com/p/informacion-tecnica.html>
- Comisión Nacional del Alamo. Informe nacional, periodo 2008-2011.
- Comité de agua de CORMA, Corporación chilena de la madera (2015). El agua y las plantaciones forestales. Concepción. Chile. Recuperado de <http://www.corma.cl>.
- Gobierno de la provincia de Córdoba. Ministerio de agua, ambiente y servicios públicos.
- Gobierno de Mendoza, Departamento General de Irrigación (2002). Reuso Agrícola de Efluentes Cloacales e Industriales. Mendoza, Argentina. Recuperado de <http://www.uncuyo.edu.ar/desarrollo/upload/3-luraschi-compressed.pdf>
- INTA (2015) Cultivo de álamos y sauces Recuperado de <https://inta.gob.ar/documentos/cultivo-de-alamos-y-sauces>.
- Román P (2014) Fuentes alternativas de riego: Aguas residuales. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_fuentes_alternativas_de_riego_-_manejo_aguas_res.pdf
- Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación (1992) Curso de Evaluación de Proyectos de Inversión. Villa Carlos Paz.
- Secretaria de servicios públicos, dirección general de operaciones. Saneamiento de Villa Huidobro.
- Tesón N, Larroca F., Millán G. y V Merani (2017) REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA EL RIEGO DE PLANTACIONES FORESTALES: RESULTADOS PRELIMINARES SOBRE EFECTOS EN EL SUELO Y EN LA PRODUCTIVIDAD. Conference: XXXI Jornadas Forestales de Entre Ríos (Argentina) Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/322069111_REUTILIZACION_DE_AGUAS_RESIDUALES_PARA_EL_RIEGO_DE_PLANTACIONES_FORESTALES_RESULTADOS_PRELIMINARES SOBRE EFECTOS EN EL SUELO Y EN LA PRODUCTIVIDAD

ANEXO FOTOGRAFICO

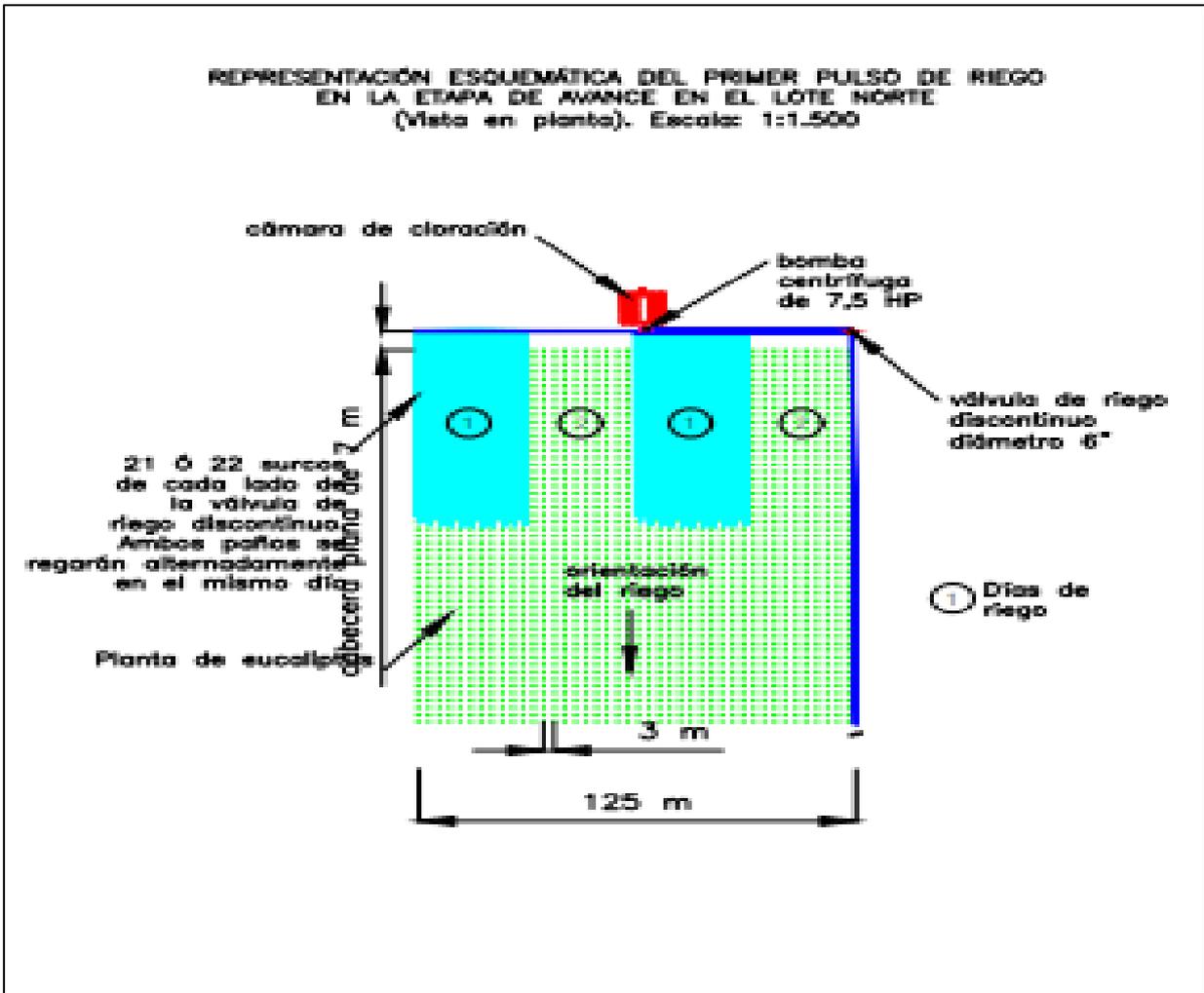


Figura 8. Representación esquemática primer pulso de riego



Figura 9 Tareas de hoyado mecánico con hoyadora manual, usada para primeros 3100 ejemplares

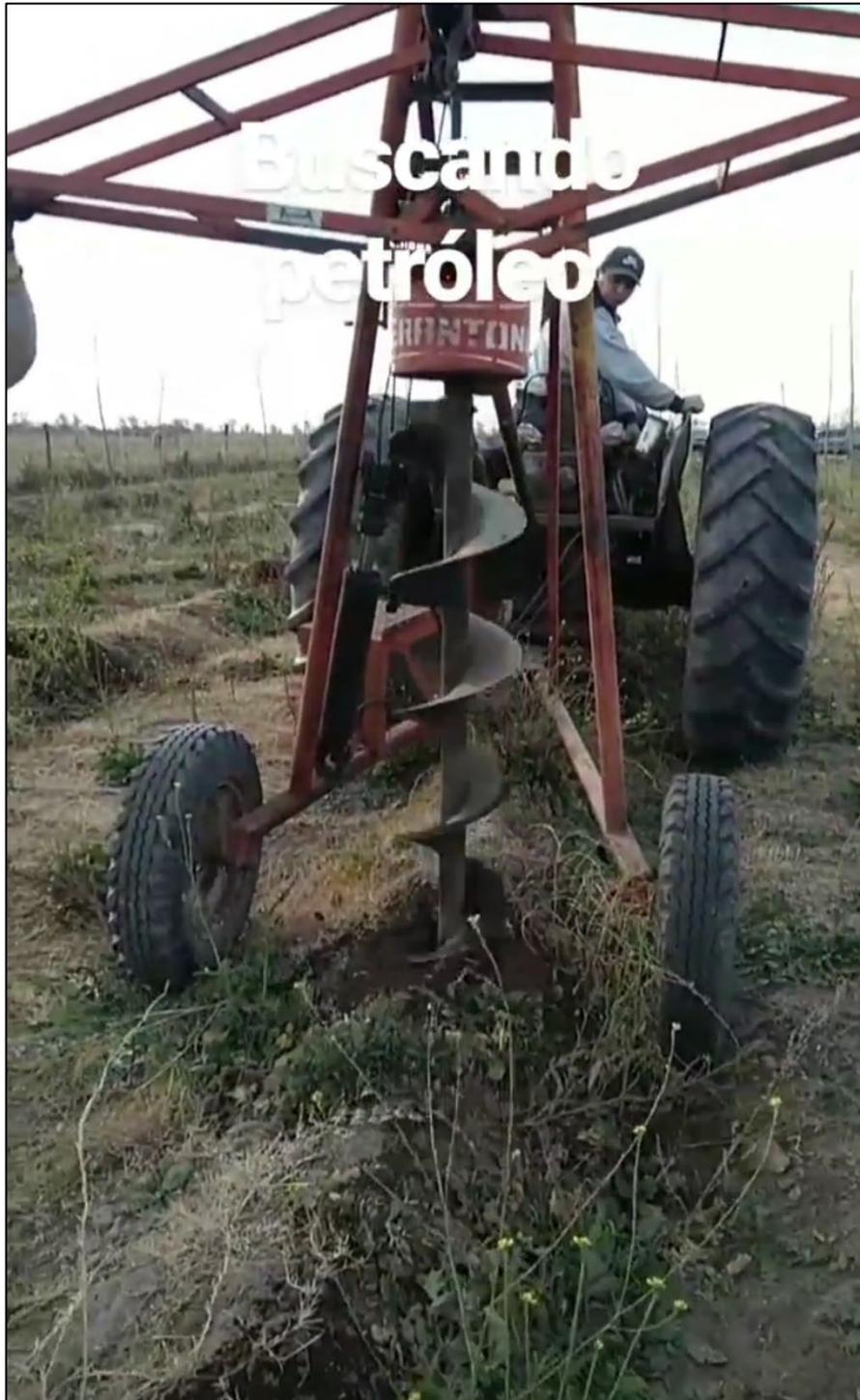


Figura 10 Tareas de hoyado mecánico con hoyadora acoplada a tractor



Figura 11 Tareas de acondicionamiento y traslado de estacas y barbados



Figura 12 Tareas de nivelación del terreno y marcado de surcos y camellones



Figura 13 Traslado del germoplasma



Figura 14 Eficacia de la labor. Plantación realizada sin pérdidas iniciales



Figura 15 Grupo de trabajo, orgullosos por la labor cumplida