

GENERACIÓN DE BANCO DE PROPAGACIÓN DE BAMBÚ – GUADUA EN ZONAS ÁRIDAS DE LA COSTA PERUANA REGADO CON DISTINTOS TIPOS DE AGUA.

Juan Gabriel Ruiz Rodriguez

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Máster en Sostenibilidad

Director: Dr. Nuria Miralles

Codirector: Dr. Rosario Pastor

Barcelona 2013

En cooperación con:



Tabla de contenido

1	Resumen	5
2	Objetivos.....	6
2.1	General.....	6
2.2	Específicos.....	6
3	Antecedentes y viabilidad	7
3.1	Gestión y aprovechamiento del Bambú en Perú.....	8
3.2	Humedales construidos en la zona del proyecto.....	9
3.3	Gestión de agua en Perú	10
3.4	Reuso de aguas residuales en el mundo.....	11
4	Metodología.....	13
4.1	Metodología investigativa	13
4.2	Metodología práctica	14
5	Desarrollo del proyecto	16
5.1	Preliminares	16
5.2	Principales	18
5.2.1	<i>Esquema global del sistema estudiado.....</i>	<i>18</i>
5.2.2	<i>Tipos de agua de riego</i>	<i>19</i>
5.2.3	<i>Rehabilitación sistema de tratamiento: humedales.....</i>	<i>24</i>
5.2.4	<i>Banco de propagación de bambú - Guadua.....</i>	<i>29</i>
5.2.4.1	Factores óptimos de crecimiento.....	29
5.2.4.2	Parámetros de crecimiento	32
5.2.4.3	Trabajo de campo.....	34
5.2.5	<i>Mejoramiento del suelo</i>	<i>36</i>
5.2.5.1	Parámetros óptimos del suelo	37
5.2.5.2	Trabajo de campo.....	37
5.2.6	<i>Sistemas de riego.....</i>	<i>38</i>
5.2.6.1	Descripción de técnicas de riego eficiente.....	39
5.2.6.2	Trabajo de campo.....	42
5.2.7	<i>Aprovechamiento del Bambú – Guadua.....</i>	<i>43</i>

5.2.7.1	Características ambientales del bambú	44
5.2.7.2	Características constructivas del bambú	45
5.2.7.3	Trabajo de campo	47
6	Resultados y discusión.....	53
6.1	Datos climatológicos y geográficos.....	53
6.2	Medición del caudal.....	53
6.3	Análisis de la calidad de agua.....	56
6.4	Análisis de suelo	60
6.5	Análisis foliar de plántulas	66
6.6	Parámetros de crecimiento de plantas	68
7	Conclusiones.....	72
8	Comentarios y sugerencias	74
9	Bibliografía.....	75
9.1	Referencias bibliograficas	75
9.2	Bibliografía complementaria	77

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este proyecto se hizo realidad gracias al apoyo económico del Centro de Cooperación al Desarrollo (CCD) y del Programa de Educación en Ciencia y Tecnología del Agua para la Población Infante juvenil del Perú PCI-AECID (A1-035941-11). El apoyo en logística e instalaciones por parte del Departamento de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Agradezco las asesorías y apoyo incondicional por parte de las profesoras Nuria Miralles y Rosario Pastor, las cuales han estado colaborando desde el primer momento en la consecución de este proyecto. Gracias a las asesorías técnicas del ingeniero José Julián Ruiz, el cual fue un apoyo importante en los temas de agronomía.

Un agradecimiento especial a mis padres por su apoyo desde la distancia, haciendo fácil lo difícil por medio de sus sabios consejos.

A todos aquellos que me brindaron su apoyo en Lima, para las personas que estuvieron presentes durante el desarrollo del proyecto en Barcelona y para los que me ofrecieron sus conocimientos en Colombia, un agradecimiento sincero por creer en este proyecto.

1 Resumen

El presente trabajo es un proyecto de investigación experimental que se ha realizado en la facultad de Ingeniería Agrícola de La Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Se basa en el aprovechamiento de diferentes tipos de agua, a las que se les aplican diversas tecnologías sostenibles de tratamientos de agua, tal como sistemas de humedales construidos de flujo horizontal y reservorios. El reúso de estos cuerpos de agua se utiliza para la generación de un banco de propagación de bambú, el cual se encuentra localizado en la costa central de Perú, presentando condiciones climatológicas naturales extremas que impiden un óptimo crecimiento natural de las plantas.

Se consideran diversas parcelas. Cada parcela que contiene el banco de propagación es regada con un tipo de agua distante; la primera parcela, parcela A, es regada con el agua proveniente del río Rímac, conducida por un canal que contiene un aliviadero de caudal seguido por una rejilla de gruesos. La siguiente etapa es un reservorio donde se almacena el agua al aire libre y por último, pasa por un tratamiento secundario compuesto por un humedal construido de flujo horizontal subsuperficial.

La parcela B, es regada por agua que viene del río Rímac conducida por medio de un canal y que solo contiene un pre tratamiento compuesto por un aliviadero de exceso de caudal y una rejilla de gruesos.

Por último se tiene la parcela C, la cual es regada por agua que viene del río Rímac, que pasa por la rejilla de gruesos y es almacenada en el reservorio, este tipo de agua es usada normalmente en el riego de los campos de la universidad.

El crecimiento de las plantas es supervisado semanalmente por medio de parámetros que muestran el desarrollo de estas. Los factores climáticos y estado del suelo es el mismo para las tres parcelas, las diferencias se presentan en el tipo de agua de riego para cada parcela y el tamaño de las plántulas en el inicio del banco de propagación. También se lleva un control semanal de la caracterización del agua y por último se realizan aforos para poder llevar un control de la cantidad de agua suministrada. El trabajo se ha realizado durante 17 semanas.

Como complemento a la investigación e implementación de los sistemas de aprovechamiento de agua, se ha realizado un trabajo de difusión de conocimientos enfocada en la importancia y utilidad que presentan las plantas de Bambú – Guadua, en términos ambientales, económicos y sociales. Se realizaron presentaciones acerca del aprovechamiento y gestión del bambú en el curso de “*Construcciones Rurales*” de la facultad de Ingeniería Agrícola de La Universidad Nacional Agrícola La Molina. Además se desarrolló un Workshop dirigido a estudiantes y profesorado de diferentes áreas (ingenieros civiles, arquitectos, diseñadores industriales, ingenieros mecánicos, ingenieros forestales e ingenieros agrícolas). Este taller contó con una sesión teórica de 8 horas, en donde se explicaron conceptos básicos del bambú, desde su plantación hasta el aprovechamiento del mismo, y 16 horas de trabajo práctico, implementando conceptos de construcción con bambú.

Por último, como paso final del proyecto, se ha realizado una propuesta de construcción de una Aula Ambiental en la Universidad, cerrando el ciclo de manera experimental, partiendo de un uso de aguas de diferentes tipos hasta el aprovechamiento del material forestal generado.

2 Objetivos

2.1 General

Contribuir al uso de diferentes tipos de aguas en zonas áridas para el desarrollo de banco de propagación de Bambú – Guadua.

2.2 Específicos

Aprovechamiento del agua proveniente del río Rímac que cruza por los campos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

Analizar sistemas de humedales construidos como tratamiento secundario de agua del río Rímac.

Analizar y aplicar las técnicas de riego eficientes para banco de propagación.

Medir y analizar parámetros de crecimiento de las plántulas sembradas en las tres parcelas regadas con distintos tipos de agua.

Evaluar posibles cambios físicos y químicos del suelo del banco de propagación.

Estimular el uso del Bambú - Guadua en la zona y fomentar sus funciones constructivas y ambientales. (Workshop).

3 Antecedentes y viabilidad

Este trabajo de investigación se basa en el aprovechamiento de distintos tipos de agua, para uso de sistemas de riego adecuados en el desarrollo de bancos de propagación de Bambú – Guadua. El trabajo final de máster se efectúa paralelamente con la ejecución del proyecto de cooperación “*Reuso de agua residual para generación de plantaciones forestales nativas y su uso como material constructivo*”, código 2012 - U013, apoyado por el Centro de Cooperación al Desarrollo CCD. El proyecto se lleva a cabo en Perú, puntualmente en la ciudad de Lima, en las instalaciones de la universidad Nacional Agraria La Molina, ubicado en la zona costera donde en promedio se registran precipitaciones de 150 mm /año, siendo una zona árida, aunque se encuentra el mayor porcentaje poblacional y económico del país. Uno de los principales consumos de agua se encuentra en usos de riego y el consumo humano.

La situación existente del Bambú en Perú se encuentra en proceso de investigación, es un material subutilizado con mala gestión de los bosques naturales presentes en este país. En algunas zonas del Perú limítrofes con Ecuador se encuentran bosques naturales de Guadua los cuales sufren un alto grado de deforestación corriendo el riesgo de desaparecer. La cantidad de plantaciones naturales de Bambú o Bambú-Guadua, son pocas en comparación con sus países vecinos, además el desconocimiento general hacia esta planta y sus aplicaciones comerciales, inciden en la falta de promoción para su reforestación y manejo adecuado. Actualmente el estudio del Bambú y sus eventuales aplicaciones están avanzando lentamente, destacándose las intervenciones en la investigación y desarrollo de la Sociedad Peruana del Bambú, que ha venido impulsando desde el año 2005, así como la Universidad Agraria La Molina, Universidad Nacional de Ingeniería, y Universidad Ricardo Palma.

El proyecto puede beneficiar principalmente a las comunidades rurales del Perú, sectores de la construcción, sectores educativos y ambientales. El aprovechamiento de diferentes tipos de agua para el funcionamiento de sistemas de riego intensivos en plantaciones forestales, es una herramienta de desarrollo para comunidades donde los recursos hídricos son escasos y los materiales de construcción tradicionales presentan bajas calidades técnicas.

El fomento y desarrollo de plantaciones comerciales de Bambú-Guadua, por medio de bancos de propagación, impulsa el uso de este material como principal fuente de construcción de viviendas e infraestructuras que ayuden a garantizar lugares dignos donde vivir e interactuar con la comunidad. El sector de la construcción se ve beneficiado gracias a las propiedades físico mecánicas apropiadas para la realización de infraestructuras por parte del Bambú-Guadua. Generando alternativas económicas y ambientales a proyectos constructivos.

El proyecto brinda a los sectores educativos y ambientales, una alternativa de aprovechamiento de diferentes tipos de agua como fuente de riego de bancos de propagación de Bambú - Guadua. Se establece un taller de nuevas experiencias educativas y ambientales donde al interactuar con un proyecto palpable muestre la importancia de elaborar gestiones sostenibles de nuestros residuos y recursos naturales.

Perú es un país que alcanzó un avance importante en la medición del Índice de Desarrollo Humano (IDH) del 2010, al lograr un resultado de 0,723 (superior al 0,718 registrado el año anterior) y mantenerse en el grupo de países con un desarrollo humano alto. Sin embargo, dicho progreso se reduce significativamente cuando se evalúa la situación y acceso a oportunidades para todas las personas. La comparación de ambas mediciones, el IDH tradicional y el IDH-D, invita a una nueva lectura del desarrollo humano en cada país. Para el caso peruano, se produce una pérdida de valor

de 30,7%, con lo que la cifra se reduce de 0,723 a 0,501. Ocupando el cuarto puesto de disparidad para la región latinoamericana [1] . La desigualdad genera focos de pobreza, falta de educación, sistemas de salud inadecuados, viviendas no dignas y demás problemas sociales que azotan las comunidades rurales del Perú.

La región desértica y semi desértica de la costa representa el 10,61% de la superficie total del país. la carencia de la agua es un factor limitante. Solo el 16% de la superficie de esta región es cultivable. En esta microrregión se ubican las principales ciudades y el área metropolitana de Lima es la más grande con más de 7 millones de habitantes.[2]. Solo el 6% de la superficie territorial de Perú (aproximadamente 7 600 000 ha) puede ser utilizado con fines agrícolas. La falta de agua en la costa es el factor que limita la producción efectiva de tierra agrícola. Las tierras peruanas presentan una baja fertilidad natural, son deficientes en nutrientes y tienen un escaso contenido orgánico. Por esta razón, se deben agregar grandes cantidades de nitrógeno para hacer rentable la actividad agrícola[3].

La actividad forestal industrial y comercial en la costa es bastante reducida; además, enfrenta problemas de tala ilícita e incendios forestales. En esta región se produce el aprovechamiento y manejo de productos forestales diferentes a la madera como carrizo, junco y caña brava (Bambú - Guadua)[4].

3.1 Gestión y aprovechamiento del Bambú en Perú

La situación existente del Bambú en Perú se encuentra en proceso de investigación, es un material que se encuentra subutilizado y muy mal gestionado en su aprovechamiento de los bosques naturales presentes en este país. La cantidad de plantaciones naturales de Bambú o Bambú-Guadua, son pocas en comparación con sus países vecinos, además el desconocimiento general hacia esta planta y sus aplicaciones comerciales, inciden en la falta de promoción para su reforestación y manejo adecuado.

En la Universidad Ricardo Palma de la ciudad de Lima, en el año 2009 se realizó el primer “*Diplomado en: diseño, construcción y utilización del Bambú en edificaciones*”. El objetivo general del diplomado fue: fortalecer las capacidades de profesionales del diseño y la construcción con aplicación del bambú, propiciando su empleo racional y adecuado, promoviendo el desarrollo del recurso y la consolidación de su cadena productiva sobre las bases de sostenibilidad. Así como generar nuevas líneas de investigación [5]

En el área de investigación universitaria se cuenta con un documento de consultoría “ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO Y LA TRANSFORMACIÓN DEL BAMBÚ EN EL ÁMBITO DEL PRODAPP”[6]. En este informe se evaluaron las especies que se ubican en la zona de estudio y se analizan las características de la calidad de los productos de bambú que se producen en la zona. Después de analizar varios factores se observó que a pesar de las condiciones climáticas favorables, áreas disponibles para la siembra y otros factores, no había habido una verdadera promoción del uso del bambú. Sin embargo se identificaron especies, como el *Dendrocalamus Asper* y *Guadua Angustifolia Kunth*, que potencialmente, podrían generar un valor económico importante en la zona, a través de su producción, transformación y comercialización, aunque se requiere de mayor conocimiento de sus propiedades ambientales y constructivas. Con ambas especies, se efectuó un ensayo de análisis de costos para evaluar la probable rentabilidad que generaría el cultivo de estas plantas.[6]

Por parte de organizaciones del estado se encuentra la Sociedad Peruana del Bambú la cual crea fuentes de desarrollo basadas bajo las siguientes modalidades:

- Promover y propiciar el desarrollo de la cadena productiva, ligadas al aprovechamiento sustentable del recurso bambú.
- Contribuir al manejo sustentable y sostenido, a su transformación artesanal e industrial para la construcción, para muebles u otros usos, y su comercialización.
- Contribuir en la formulación, promoción y difusión y/o ejecución del bambú.
- Promover y desarrollar proyectos de asesoramiento y capacitación a la población interesada en el desarrollo del recurso bambú.
- Propiciar la coordinación y cooperación interinstitucional con entidades públicas y privadas, nacionales y extranjeras para el intercambio de información científica y tecnológica ligadas al recurso bambú y su aprovechamiento.
- Intermediar, participar, y crear fuentes y/o puestos de trabajo a través de la formulación, gestión y ejecución de proyectos de desarrollo relacionadas con el recurso del bambú.[7]

También cuenta con un Organismo Público Descentralizado del Sector Vivienda, Construcción y Saneamiento (SENCICO), el cual brinda capacitaciones, investigación, evaluación de sistemas constructivos innovadores y proponen normas para el desarrollo de la industria de la construcción; contribuyendo así al incremento de la productividad de las empresas constructoras y a la mejora de la calidad de vida de la población. Esta organización realizó investigaciones centradas en el riego de plantaciones de bambú en la zona norte del país, usando aguas crudas. En el área de construcción desde 1996 inició una investigación a fin de verificar el comportamiento de un nuevo sistema constructivo que use materiales regionales al que denomino Cañacreto Modular. El sistema Cañacreto Modular consiste en la integración de dos estructuras: una constituida por paneles prefabricados, formados por bastidores de madera y bambú con pantallas de esteras de bambú, los que conforman el alma de los muros y techos; y una segunda constituida por mallas de acero electro soldados en ambas caras, pañetadas con micro concreto y cubiertas en forma convencional.

3.2 Humedales construidos en la zona del proyecto

En la Universidad Nacional Agraria La Molina se han venido desarrollando diferentes trabajos en el campo de las tecnologías sostenibles para el tratamiento de agua. En el marco del programa de Educación en Ciencia y Tecnología del Agua para la Población Infante – Juvenil del Perú. Apoyado por el AECID, se adelantan algunos trabajos de investigación. En el año 2011 se adelantó el siguiente trabajo: “Adecuación de infraestructura y dotación de equipos e instrumentos, Plantas Pilotos”[8], el cual cuenta con dos componentes, el científico, en donde se ha equipado el laboratorio con instrumentos y materiales para medir la calidad del agua y el técnico en donde se construye plantas pilotos en pre tratamiento y tratamientos secundarios empleando la tecnología de humedales artificiales. Se apoya con materiales didácticos con conceptos básicos de tratamiento y aprovechamiento de las aguas residuales. En este programa se han realizado los siguientes trabajos de investigación:

- Comparación de la eficiencia de dos unidades de pre tratamiento: tanque séptico vs tanque baffled.
- Comparación de la eficiencia de un humedal vertical vs horizontal.
- Modelo de tratamiento de aguas residuales para una escuela uni docente.
- Propuestas para el desarrollo del área demostrativa de tratamiento de aguas residuales en la UNALM.
- Estudio comparativo de costos y eficiencias de dos celdas de humedales horizontales revestidas con geomembrana y concreto.
- Determinación de la máxima carga orgánica aplicable en humedales de flujo subsuperficial horizontal.
- Evaluación del comportamiento de una celda francesa para el pre tratamiento de aguas residuales domesticas.

3.3 *Gestión de agua en Perú*

En el Perú solo un 22 % de las aguas residuales pasan por una planta de tratamiento. Por otro lado, el 88% de la población peruana que vive entre las zonas áridas y desérticas de la costa y la sierra se abastecen con menos del 2% de las fuentes naturales de agua. La mayor parte de esta agua surge de los Andes y se contamina en su camino al Pacífico por la falta de saneamiento, también por las actividades mineras, industriales y agrícolas. En consecuencia hay un alto nivel de enfermedades transmitidas por aguas contaminadas y en muchos casos también por la falta de instalaciones sanitarias.

La legislación y administración de las aguas en Perú, estuvo regida por el código de aguas desde 1902 hasta 1969, luego la Ley General de Aguas se inicia en 1969 hasta los tiempos actuales, sufriendo numerosas y parciales modificaciones, algunas sin mayor fundamento, especialmente en lo relacionado al aprovechamiento agrícola. La principal diferencia entre el código y la ley general. Se basa en que el Código reconocía derechos adquiridos sobre las dotaciones de agua otorgadas por el estado a particulares, y la Ley General de Aguas, niega estos derechos y asigna al estado la absoluta propiedad de las aguas que las otorga para el aprovechamiento de particulares mediante licencias y permisos.

En el periodo de 1968 a 1983 las leyes de reforma agraria y general de aguas, crearon inseguridad en la propiedad de la tierra y el para uso agrícola, generando algunas consecuencias, como el la parálisis de la inversión privada, la división de las cooperativas agrícolas, el descenso del sector agrícola en el PIB o la inversión económica del estado en obras hidráulicas con pobres resultados. Después de algunos años, en el 1993 la Constitución de la Republica, faculta al estado para otorgar derechos reales de agua y seguridad de la tenencia del derecho, para hacer efectivo este mandato se requiere una nueva legislación de aguas. En 1997 nace La Ley Orgánica para el Aprovechamiento de los Recursos Naturales, Ley N° 26821. Esta ley introduce términos como la concesión de derechos sobre un recurso natural, para su uso y disfrute. Por otra parte, define las funciones de la Administración pública para promover la investigación, realizar inventarios de los recursos naturales, declarar áreas de conservación y establecer registros públicos de concesiones y

otorgamientos de los recursos naturales.[9]

Por último se ha radicado la Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos del año 2009. La ley comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a ésta. Regula el uso y gestión integrada del agua, la actuación del estado y los particulares en dicha gestión, así como los bienes asociados al agua. En otros aspectos la presente Ley propicia el cambio en el modo de pensar y en las actitudes sobre el valor, uso y gestión del agua, para que su aprovechamiento sea eficiente y productivo, poniendo especial interés en minimizar los impactos en los ecosistemas. También promueve mitigar la contaminación de las aguas, ocasionadas por los residuos de los pueblos y ciudades y de las actividades productivas, la industria, la minería y la agricultura. Busca adoptar estrategias para la adaptación a las consecuencias del cambio climático, para cuidar las reservas de las futuras generaciones.[10]

3.4 Reuso de aguas residuales en el mundo

“El uso de aguas residuales domesticas tratadas se esta probando en el ámbito de un proyecto regional en sistemas forestales y agroforestales en tierras marginales como una forma de convertir esta agua en un activo valioso para la vida y la seguridad alimentaria”.[11]

Los países áridos y semiáridos densamente poblados producen grandes cantidades de aguas residuales cuya gestión en algunos casos es insuficiente. En muchos países esta agua se hacen afluir a tierras abandonadas, donde su presencia constituye un peligro para la salud pública y el medio ambiente. Sin embargo, las aguas residuales tratadas pueden convertirse en un importante recurso para la agro silvicultura y la silvicultura, contribuir a la producción de madera y leña ser utilizadas para la creación de cortavientos y cinturones protectores en beneficio de agricultores y pequeños productores.

Las nuevas tecnologías de tratamiento de las aguas residuales, combinadas con sistemas perfeccionados de riego por goteo, generan considerables potencialidades para el desarrollo de bosques en zonas áridas y semiáridas. Gracias a ellos se ayudaría a suplir productos forestales y servicios del ecosistemas a la población, al tiempo que se restaurarían zonas degradadas y se combatiría la desertificación y se mitigarían los efectos del cambio climático debido a la absorción de carbono.

El gobierno italiano y la FAO han puesto en marcha un proyecto para la aplicación de nuevas tecnologías en la producción y manejo de aguas residuales tratadas en cuatro países norafricanos; Argelia, Egipto, Marruecos y Túnez. El proyecto entro en funcionamiento en marzo de 2012 y su finalización está previsto para 2013. El objetivo principal es crear en cada uno de los países algunos sitios de demostración para el uso de las aguas residuales tratadas en la silvicultura, sensibilizar a los usuarios y llevar a cabo el fomento de las capacidades en materia de aguas residuales tratadas con vistas a su uso y manejo seguros y adecuados.

En Marruecos, el proyecto brindara apoyo para establecer, en un primer momento, 10 hectáreas de un futuro cinturón verde en Marrakech que funcionará como zona tampón entre un vertedero y la planta de aguas residuales. El cinturón constara principalmente de palmeras, aunque el 10% del área será plantado con especies forestales. La zona será fertirregada con aguas residuales, y en última instancia la mayor parte de la materia orgánica quedara almacenada en el suelo.

En Argelia, el proyecto sostendrá las actividades del plantación y mantenimiento de una

fitodepuradora construida por la Universidad de Tuscia en el oasis de Brezina, con el propósito de establecer una pequeña plantación de tamariz para producción de bioenergía mediante el uso de aguas residuales tratadas. El principal objetivo es demostrar la sostenibilidad y asequibilidad de esta técnica en zonas rurales, el proyecto también prestará apoyo en la planificación de una fitodepuradora en el oasis de Taghit.

En Egipto, el proyecto operará en cooperación con el ministerio de agricultura y Bonificación de Tierras, la Subsecretaria de Forestación y el Departamento Forestal de la Universidad de Alejandría, y su objetivo será preparar y aplicar el primer plan de ordenación de un bosque plantado en Serapium, junto al canal del Suez, que se riega con aguas residuales tratadas. La finalidad es que el bosque llegue a reunir las condiciones para la obtención de bonos ambientales debido a las cantidades de carbono absorbido.

En Túnez, el proyecto secundaria la preparación de dos áreas de demostración, una planta de fertirrigación se construirá cerca de Keruán, donde una moderna instalación de tratamiento de aguas residuales produce aguas apropiadas para sus uso en la agricultura. Pese a que se trata de un sistema elaborado, su consumo energético es alto; por consiguiente, la fertirrigación, que suministraría agua de riego para árboles y materia orgánica del suelo, tiene un interés considerable. En el sur del país, el proyecto ayudará a la puesta en marcha de una fitodepuradora barata y de baja energía que producirá agua para actividades agroforestales.[11]

4 Metodología

El trabajo de fin de máster se compone de una parte teórica investigativa y una parte práctica, la cual hace parte de un proyecto de cooperación con la Universidad Nacional Agraria La Molina, en donde se recibe apoyo económico del Centro de Cooperación al Desarrollo de la Universitat Politècnica de Catalunya.

La parte teórica es el estudio de diversos aspectos para poder afrontar temas puntuales que se presentan en el trabajo, por otro lado el componente práctico es la aplicación de los conceptos aprendidos durante el máster y durante la investigación realizada. A continuación se explican los procedimientos racionales aplicados en cada uno de los componentes que ayudan a alcanzar los objetivos planteados en el trabajo de fin de máster.

4.1 Metodología investigativa

En primera medida la asistencia a clases del máster en sostenibilidad, las cuales comienzan a encaminar una propuesta de proyecto de investigación. Los temas de interés que son explicados en las clases de asignaturas como Tecnologías sostenibles para la gestión integral del agua y Recursos hídricos en países áridos. El siguiente paso es la profundización de temas puntuales en técnicas sostenibles de tratamientos de agua, gestión de recursos hídricos en zonas áridas, sistemas de riego eficientes para zonas áridas y materiales renovables para usos constructivos. Partiendo de estos conocimientos se tiene la necesidad de aprovechar y darle un uso práctico y adecuado a las aguas residuales domésticas buscando la conexión con la generación de plantaciones para la adjudicación de materiales renovables para usos constructivos.

A continuación en la figura 1 se muestra un esquema práctico en donde se especifica la suma de las etapas dadas para generar una propuesta del trabajo final de máster.

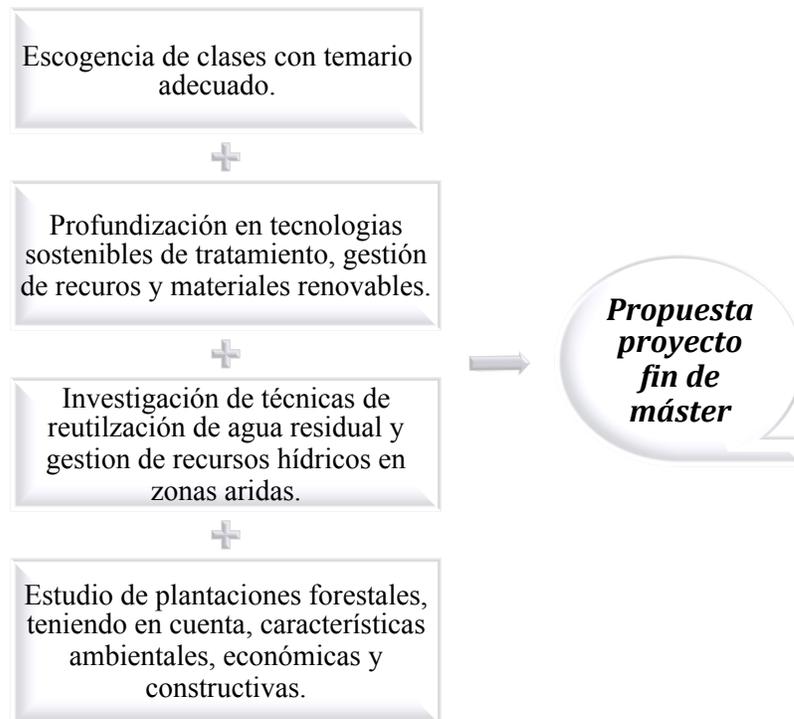


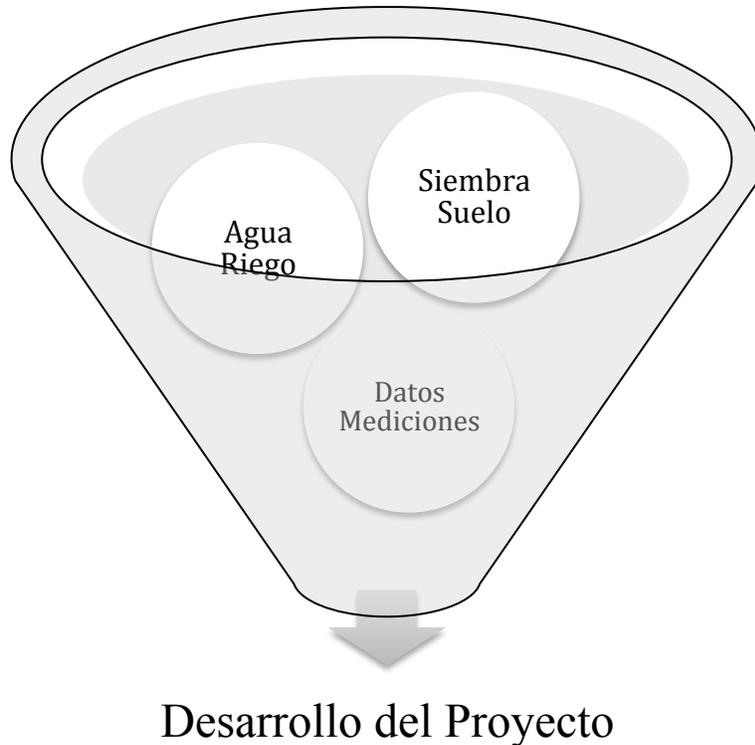
Figura N°1. Metodología Investigativa

Se evalúan diferentes propuestas en base a las posibilidades económicas, técnicas y logísticas para concretar un proyecto en donde se implementen y se agrupen los diferentes conocimientos y técnicas de tratamiento y gestión sostenible de recursos hídricos y materiales de construcción.

Parte esencial de los procesos de gestión de recursos hídricos es el aprovechamiento del mismo, por tal razón se debe contar con investigaciones de diferentes tipologías de plantaciones forestales, para poder evaluar las diferentes posibilidades. Por último se busca focalizar la investigación en un tipo de plantaciones que contenga buenas características, ambientales, constructivas y económicas.

4.2 Metodología práctica

La metodología planteada se basa en tres campos de acción que buscan generar una fuente óptima de datos para poder llegar a cumplir los objetivos propuestos en la investigación y lograr un excelente desarrollo del proyecto.



Desarrollo del Proyecto

Figura N°2. Metodología práctica

Los campos de acción se componen de los siguientes procesos lógicos los cuales buscan integrar coherentemente cada aspecto anteriormente mencionado:

- ✓ Adecuación de terreno para el banco de propagación
- ✓ Adecuación de los sistemas de almacenamiento de agua residual y agua regenerada.
- ✓ Mantenimiento del sistema de tratamiento de agua residual (Humedal construido de flujo horizontal subsuperficial)
- ✓ Implementación de sistemas eficientes de riego
- ✓ Obtención y siembra de plantas
- ✓ Calibración de caudal de riego
- ✓ Mejoramiento del suelo (compostaje natural)
- ✓ Mejoramiento de la capacidad hidráulica del suelo (mosh natural)
- ✓ Toma y análisis de datos
- ✓ Transferencia de conocimientos ambientales, constructivos y económicos del Bambú.

5 Desarrollo del proyecto

El proyecto está basado en una investigación teórica que sirve como base para poder establecer un proyecto práctico para las comunidades implicadas. Las actividades realizadas se dividen en dos secciones, la primera una parte preliminar, en donde se muestra las actividades realizadas para poder generar un trabajo de campo satisfactorio que queda reflejada en las actividades principales.

A continuación se presenta una explicación detallada de cada grupo de actividades.

5.1 Preliminares

Las actividades preliminares se basan en la búsqueda bibliográfica de los temas relacionados con el proyecto, como los son: técnicas sostenibles de tratamiento de aguas residuales, gestión de recursos hídricos en zonas áridas, aprovechamiento de plantaciones forestales, y por último características ambientales, económicas y constructivas del Bambú – Guadua.

La siguiente actividad realizada fue el viaje hacia la ciudad de Lima - Perú, para poder conocer las instalaciones del lugar donde se iba a desarrollar el proyecto de cooperación. Por parte de la Universidad Nacional Agraria La Molina, representada por la Ingeniera Rosa Miglio, se presentaron tres diferentes zonas donde se podía avanzar con la adecuación de los bancos de propagación de Bambú – Guadua y el aprovechamiento de aguas residuales presentes en la universidad.

Se evaluaron tres aspectos para la escogencia de las zona para la realización del proyecto. El primer punto a evaluar fue la disponibilidad de agua para ser usada en el riego de las parcelas de Bambú – Guadua. Para cumplir con las especificaciones del proyecto se debe tener en cuenta que la fuente de agua debe ser de tipo residual doméstica.

El segundo punto a evaluar es la posibilidad de tener en funcionamiento sistemas biológicos de tratamiento de agua y por último se considera el espacio disponible para desarrollar las plantaciones de Bambú – Guadua.

El primer lugar evaluado se encuentra ubicado en una de las entradas principales de la universidad, el cual hace parte del desarrollo de un trabajo de final de grado de la facultad de Ingeniería Agrícola. Está integrado por un baño seco, el cual cuenta con un inodoro, un orinal, una ducha y un lavamanos. Como sistema de tratamiento de agua residual se encuentra un humedal construido de pequeñas dimensiones, con una capacidad de aproximadamente 600 litros por día.

El uso de este baño es por parte de los guardianes de turno de la universidad. Uno de los inconvenientes importantes es la baja cantidad de agua disponible debido a su bajo uso. Además el espacio disponible es reducido, debido a que varios espacios vacíos se encuentran placas de hormigón que impiden su aprovechamiento.



Figura N°3. zonas de trabajo baño seco. Lima – Perú, Octubre 2012

El segundo espacio analizado forma parte del proyecto de cooperación “Programa de educación en ciencia y tecnología del agua para la población infanto-juvenil del Perú” el cual cuenta con sistemas de tratamiento de aguas residuales biológicos, como los humedales construidos de flujo horizontal, vertical y celdas francesas, además cuenta con sistemas primarios de tratamiento de agua. El lugar cuenta con excelentes características de espacio y la posibilidad de acceder a los sistemas de tratamiento son inmejorables. Lamentablemente esta zona no cuenta con un canal de conducción de aguas residuales que puede garantizar el paso de agua por el sistema de tratamiento y por tal razón no se cuenta con un caudal apropiado para poder realizar el banco de propagación.



Figura N°4. zonas de trabajo Humedales programa de cooperación . Lima – Perú, Octubre 2012

Por último se analizó el sector del reservorio, en donde se encuentra un sistema de humedales construidos que hacen parte de un proyecto de final de carrera de ingeniería agrícola. Aunque el estado de los humedales no es el mejor, debido a que presentan algunos una gran cantidad de raíces que terminan por colmatar el sustrato, además el encofrado de vidrio puede sufrir algunos daños por las presiones que se pueden presentar dentro de los humedales.

También cuenta con un reservorio y un canal de distribución de aguas residuales domésticas que vienen mezcladas con el afluente del río Rímac. El acceso de agua del reservorio es continuo y la disponibilidad del agua del canal se tiene los martes y jueves de cada semana. El espacio para realizar los bancos de propagación es adecuado para el desarrollo del proyecto.



Figura N°5. zonas de trabajo Reservorio. Lima – Perú, Octubre 2012

Después de realizar estas actividades preliminares, se tiene un análisis profundo de las posibilidades con las que cuenta la universidad para poder implementar el proyecto de cooperación. El principal cambio que se plantea es cambiar el uso de agua residual domestica por el agua del reservorio, debido a la ausencia del canal de conducción de aguas residuales.

5.2 Principales

Después de evaluar las tres posibles zonas de trabajo, se decidió trabajar en el área del reservorio, debido a que se cuenta con un mejor caudal que las otras dos opciones, aunque se tiene algunas limitaciones con el agua que pasa por el canal, su disponibilidad es suficiente para poder poner en marcha un sistema de riego. Para generar el banco de propagación de Bambú – Guadua, los sistemas de riego, el aprovechamiento de agua y los sistemas biológicos de tratamiento de agua por medio de humedales construidos, se desarrollaron las actividades que se describen en los siguientes apartados:

5.2.1 Esquema global del sistema estudiado

El trabajo desarrolla un sistema integral entre la captación del agua, almacenamiento, tratamiento y aprovechamiento. El sistema se compone de tanques de almacenamiento, parcelas de plantación, reservorio, canal de distribución y rejilla de separación, humedal construido de flujo horizontal y estructura de protección contra el viento y los rayos de sol.

Las tareas realizadas en este apartado del proyecto fueron: el desarrollo de las parcelas de plantación de Bambú, búsqueda de tanques de almacenamiento, construcción de sistemas de riego por goteo, colocación de estructuras de protección, y el rediseño del humedal construido. A continuación en la figura N°6 se presenta el esquema de la zona del proyecto, la ubicación de las parcelas, tanques de almacenamientos, tuberías de conducción y fuentes de agua.

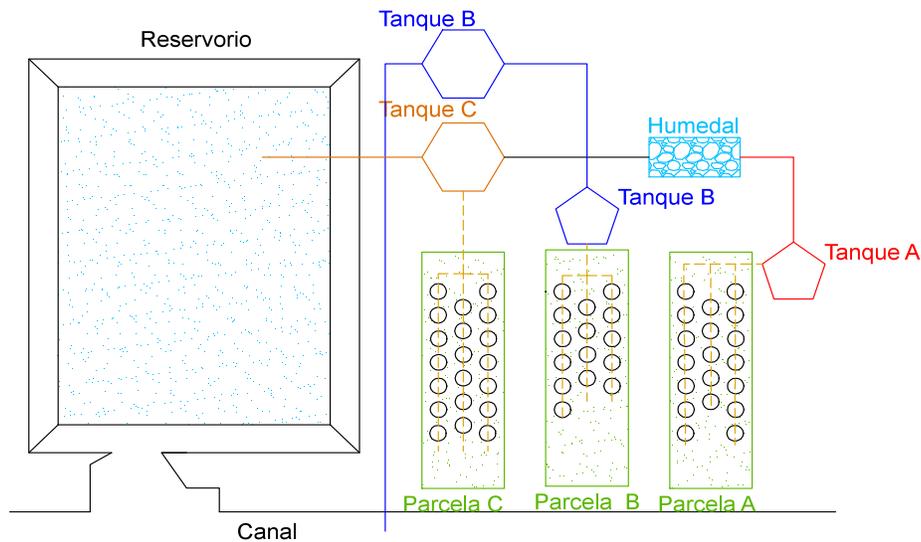


Figura N°6. Esquema del sistema

5.2.2 Tipos de agua de riego

Una de las principales fuentes hídricas de Lima es el río Rímac, el cual nace en las alturas del monte Ticlio discurrendo por las provincias de Lima y Huarochirí con dirección noroeste – suroeste y una longitud de 140 km. Sus afluentes principales son la quebrada El Carmen y los ríos Chinchán, Blanco, Aruri, Santa Eulalia y Huaycoloro.

Los centros poblados más importantes ubicados a lo largo del río son: Lima, Vitarte, Chaclayo, Chosica y Matucana que representan el 81% de la población total de la cuenca. Sin embargo, las aguas residuales domésticas generadas son lanzadas sin tratamiento al cuerpo receptor. Es importante resaltar que Lima es la principal consumidora del agua superficial y subterránea del río Rímac.

En la cuenca alta existe explotación de plomo, cobre, zinc, plata, oro y antimonio. La actividad minera es intensa por parte de varias empresas, de modo que un gran volumen de vertimientos tiene que ser evacuado; algunos de ellos se vierten directamente al río, otros usan canchas de relaves y algunos otros canales.[12].

Los recursos de agua para riego que se utilizan en el distrito de La Molina, provienen del sistema de aguas de la Cuenca del Río Rímac, cuya captación es realizada a la altura de Huachipa, Ate – Vitarte, y es entregada mediante dos riegos por semana con caudales promedio de $1L/s/hm^2$. La entrega se hace por medio de canales abiertos de hormigón los cuales tienen aproximadamente una longitud de más de 20 km.



Figura N°7. Esquema transporte de agua

Según el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, en la sección de Disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua, especifica que el tramo del río Rímac comprendido entre la salida de la laguna Ticticocha y las bocatomas de la planta de tratamiento de La Atarjea de SEDEPAL, se encuentra dentro de la Categoría 1 “Poblacional y Recreacional”, Subcategoría A2 aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional; entiéndase como aquellas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con tratamiento convencional que puede estar conformado por los siguientes procesos; decantación, coagulación, floculación, sedimentación y filtración, además de la desinfección de conformidad con la normativa vigente.[13]

El Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, aprueba los estándares de calidad ambiental para agua, estos parámetros deben ser tomados en cuenta para saber que métodos de tratamientos deben desarrollarse dependiendo de los contaminantes que se presenten en el agua.

Concretamente para el río Rímac se tiene en cuenta el anexo I “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 1: Poblacional y Recreacional. En la tabla N°1 se recogen los parámetros físico químicos de la calidad de agua.

Tabla N°1. Estándares Nacionales de Calidad para Agua

ANEXO I ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA CATEGORIA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL						
PARAMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	aguas que pueden ser potabilizadas con tratamientos convencionales	aguas que pueden ser potabilizadas con tratamientos avanzados	Contacto Primario	Contacto Secundario
FISICOS Y QUIMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/l	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro libre	mg/l	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/l	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/l	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	ms/cm	1500	1600	**	**	**
D.B.O 5	mg/l	3	5	10	5	10
D.Q.O	mg/l	10	20	30	30	50
Dureza	mg/l	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/l	0,5	0,5	na	0,5	Ausencia de espuma persistente
Fenoles	mg/l	0,003	0,01	0,1	**	**
Floruros	mg/l	1	**	**	**	**
Fosforo Total	mg/l P	0,1	0,15	0,15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos	mg/l N	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/l N	1	1	1	1(5)	**
Nitrogeno Amoniacal	mg/l N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Aceptable	**	**	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/l	>=6	>=5	>=4	>=5	>=4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0	6,9(2,5)	**
Solidos Disueltos Totales	mg/l	1000	1000	1500	**	**
Sulfatos	mg/l	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/l	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	UNT	5	100	**	100	**

** Se entiende que para esta subcategoría, el parametro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente determine

Fuente: Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Perú

Los parámetros de agua medidos en la práctica se ven condicionados con las posibilidades de reactivos y aparatos que cuenta el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Salinidad; la salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en el agua de riego. La determinación de las sales disueltas en el agua se analiza mediante la conductividad eléctrica. La reducción del crecimiento de los cultivos por la salinidad es causado por el potencial osmótico ya que reduce la capacidad de las raíces de las plantas a extraer agua del suelo. Como resultado, la respiración se incrementa y el crecimiento y rendimiento de la mayoría de las plantas baja progresivamente con el aumento de presión osmótica. El agua regenerada, generalmente, presenta una salinidad entre 0,6 y 1,7 dS/m.[14]
- pH; es un indicador de la acidez y basicidad del agua, el rango de pH para las aguas de riego se encuentran entre 6,5 y 8,4, valores fuera de estos límites indican una anomalía en la calidad del agua. En este caso el agua de riego puede provocar un desequilibrio nutricional en la planta afectando su crecimiento y salud.[15]
- Temperatura; es un factor que puede ocasionar trastornos en el crecimiento de las plantas,

en especial en las primeras etapas de desarrollo. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. Se ha comprobado que un agua de riego a la temperatura ambiente es mucho más eficaz en el lavado del suelo.

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5); es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas.
- Nitrógeno total; varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. Se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kjeldahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado. El nitrógeno es el motor del crecimiento de la planta, es absorbido del suelo bajo forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). En la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar aminoácidos y proteínas. Siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento.[16]
- Fosforo; sule de 0,1 a 0,4 por ciento del extracto seco de la planta, es muy importante para la transferencia de energía, siendo esencial en los procesos químico – fisiológico. Es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta.[17]
- Turbidez; es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Hay varios factores que influyen en la turbidez, como lo son: fitoplancton, sedimentos procedentes de la erosión, descarga de efluentes, crecimiento de las algas o escorrentía urbana. Las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol, haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes y así reducen la concentración de oxígeno en el agua, ya que la solubilidad del oxígeno en agua es inversamente proporcional a su temperatura. El principal impacto de la turbidez en los métodos de riego es la alta capacidad de obstruir las redes de riego.[18]
- Contaminantes biológicos; las bacterias son los microorganismos que más abundan en las aguas residuales, son las entero bacterias. Según la Ley General de Aguas vigente en el Perú, los límites bacteriológicos son los siguientes; para organismos coliformes promedio mensual inferior a 5000 por cada 100 ml y para organismos fecales hasta 1000 por cada 100 ml.

De acuerdo al sector donde se desarrolló el proyecto se analizan las diferentes fuentes de agua para aprovecharlas en los sistemas de riego que se van a implementar en el banco de propagación. De acuerdo con la disponibilidad de agua en la zona, se toma la decisión de realizar tres parcelas en donde se realizara la siembra de Bambú – Guadua, regadas con tres tipos de agua. En la figura N°8 se resumen los diferentes tipos de agua y sus tratamientos que se utilizan durante el proyecto.

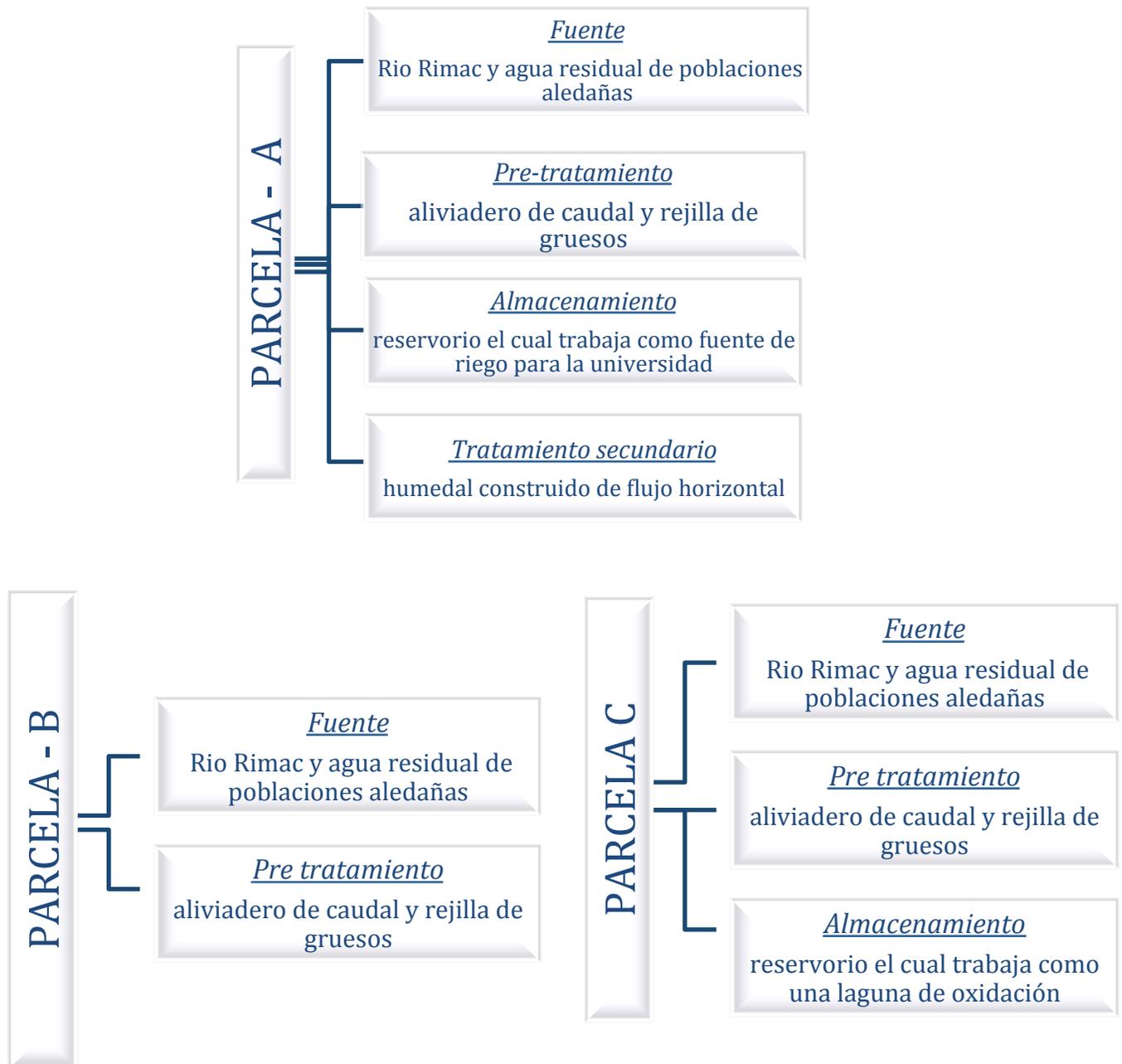


Figura N°8. Tipos de agua

5.2.3 Rehabilitación sistema de tratamiento: humedales

Se realizó un mantenimiento del sistema, debido a que en las celdas existentes se presentaban altos grados de colmatación, además presentaban un exceso de raíces lo cual estaba generando altas presiones en las paredes de las celdas, evidenciándose algunas grietas.

1. Se procedió a sacar el sustrato de grava y las plantas, cuidando de dejar una longitud mínima de raíces de 10cm, debido a que estas plantas se reutilizaran en el llenado del humedal. Figura N°9.



Figura N°9. vaciado de humedales. Lima – Perú, Octubre 2011

2. Se acondiciona una tubería perforada formando una T, con el objetivo de asegurar una entrada uniforme del agua al humedal, esta tubería no se encontraba en el momento de desocupar el humedal. Figura N°10.



Figura N°10. vaciado de humedales. Lima – Perú, Octubre 2012

3. Se regula la pendiente del humedal debido a que se comprobó un desnivel que podía generar un tratamiento no uniforme, el agua se inclinaba ligeramente hacia un costado. Se reutilizaron bloques de hormigón del laboratorio de materiales de la universidad. Figura N°11.

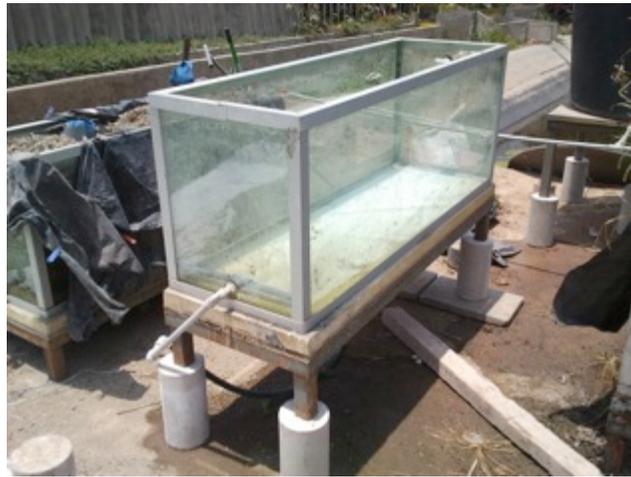


Figura N°11. Corrección de pendiente. Lima – Perú, Octubre 2012

4. Elevación del humedal y del tanque de almacenamiento de agua del reservorio, se toma la decisión de elevar estas estructuras pensando en la ubicación del tanque de almacenamiento destinado a la parcela A, la idea es realizar este llenado por gravedad desde el humedal. Para elevar las estructuras se reutilizaron materiales de una obra civil cercana. Figura N°12.



Figura N°12. elevación de sistemas. Lima – Perú, Octubre 2012

5. Llenado del humedal, se realiza un tamizado del sustrato de grava para poder diferenciar los dos tipos de grava que se encuentran en el humedal, una grava de mayor diámetro aproximadamente 5 cm, se ubica en la zona de entrada y salida de agua, con el fin de mejorar la conductividad hidráulica en estas zonas, las gravas de menor tamaño se ubicaran en el espacio central, convirtiéndose en el medio de soporte de las plantas *Cyperus alternifolius*, conocida en el argot popular como paragüitas. Planta herbácea perenne, cespitosa, con los tallos de sección triangular, generalmente de poco más de medio metro de altura, Propia de márgenes de ríos y cursos de agua, utilizada con frecuencia en jardinería para acompañar estanques. Figura N°13.



Figura N°13. llenado de humedales. Lima – Perú, Octubre 2012

- 6 Dimensionamiento del humedal. Las dimensiones de la celda son 60 cm de alto, 50 cm de ancho y 150 cm de largo. Teniendo en cuenta la ecuación de diseño de dimensionamiento superficial.[19]

$$S = \frac{Q}{K_a} \ln \left(\frac{C_o}{C} \right), \text{ siendo;}$$

S = área superficial del humedal, en este caso es un valor conocido debido a que se tiene una celda ya construida. $s = 0,50 \text{ m} \times 1,50 \text{ m} = 0,75 \text{ m}^2$.

K_a = constante cinética de primer orden, el valor de esta constante varía dependiendo del contaminante y su concentración. En este caso el humedal trabaja para tratar la DBO_5 , se recomienda un valor de 0,08 m/d, este valor de K_a es válido para aguas residuales con carga media o baja ($DBO_5 < 250\text{mg/L}$).[19]

C_o = concentración inicial del contaminante, se escogió el valor máximo experimental determinado en el laboratorio, dió un valor de 32 mg/L, en el agua proveniente del reservorio.

C = concentración final del contaminante a la salida del humedal, el valor se determina según lo que establece la Ley General de Aguas de Perú para aguas destinadas al riego de vegetales de consumo crudo y bebidas de animales con una concentración máxima de 15mg/L.

Q = caudal de entrada al sistema, debido a que las otras variables están determinadas, el caudal se graduó para poder cumplir con las condiciones de área superficial y concentración de contaminantes.

$$Q = S \times Ka \times \ln\left(\frac{C_0}{c}\right)^{-1} = 0,08 \frac{m^3}{d}$$

En la practica el caudal se graduó por medio de aforos en la entrada del humedal, las medidas se toman cada 10 segundos.

Tabla N°2. Caudal de entrada al humedal

Aforo	
tiempo (s)	10
Q (mL/s)	9
Q (mL/min)	54
Q (mL/h)	3240
Q(L/h)	3,24
Q (L/día)	77,76

El tiempo de retención hidráulico es un valor que muestra el tiempo que demora el agua desde la entrada del humedal hasta la salida, depende de la porosidad del sustrato, la profundidad del lecho de grava y las dimensiones del humedal. La porosidad está directamente relacionada con la conductividad hidráulica del material, en este caso se tienen arenas gravosas que cuentan con una porosidad aproximadamente entre el 30 – 35 %. [20]

$$t = \frac{\varepsilon \times A \times h}{Q} = 34 h$$

este tiempo es teórico, en la práctica se presentaron diferencias notorias, aunque cabe resaltar que no se contó con una técnica apropiada para la medición de este tiempo, como por ejemplo el uso de trazadores. Para poder medir este tiempo de retención primero se calibra el caudal de entrada del humedal, la válvula de salida totalmente abierta y por ultimo se mide el tiempo transcurrido.

La primera medida se realizó el jueves 1 de noviembre a las 8 am, con una duración aproximadamente de 9 horas. La segunda medida se efectuó el sábado 3 de noviembre a las 8 am, con una duración de 7 horas.

A continuación se muestran los datos generados en el diseño biológico e hidráulico del humedal.
Tabla N°3

Tabla N°3. Diseño humedal biológico e hidráulico

ELIMINACIÓN CONTAMINANTE DBO ₅					
DISEÑO BIOLÓGICO			DISEÑO HIDRAULICO		
datos de entrada			datos de entrada		
Caudal	Q (L/día)	77,76	Caudal	Q (m ³ /día)	0,078
Caudal	Q (m ³ /día)	0,08			
Constante según contaminante	Ka (m/día)	0,08	Conductividad hidráulica	Ks (m ³ /m ² *día)	5000
Concentración afluente	Co (mg/L)	32	Pendiente	s (%)	1
Concentración efluente	C1 (mg/L)	15	Profundidad	h (m)	0,5
Porosidad	ε (%)	0,3			
Profundidad	h (m)	0,5			
datos de salida			datos de salida		
			Factor de seguridad	fs	5
Superficie Humedal	Sh (m ²)	0,74	Área sección perpendicular	As (m ²)	0,00778
Tiempo de Retención	t (día)	1,421	Ancho Humedal	W (m)	0,500
	t (h)	34			
Reducción Nitrógeno	C1 (mg/L)	0,79	Longitud Humedal	L (m)	1,47

5.2.4 Banco de propagación de bambú - Guadua

El desarrollo adecuado de un banco de propagación y posteriormente de una plantación comercial de bambú está definido por los factores climáticos, el cuidado en el tratamiento de las plantas, las infraestructuras de protección para el desarrollo del banco de propagación y el conocimiento de las posibles amenazas que se pueden presentar en el entorno donde se desarrolla el proyecto.

Para elaborar un banco de propagación se debe conocer a fondo la estructura de la planta, sus necesidades mínimas ambientales, sistemas de reproducción óptimas dependiendo del entorno y los pasos necesarios para generar una siembra que presente buenos resultados de reproducción.

5.2.4.1 *Factores óptimos de crecimiento*

Existen dos formas de reproducción o propagación del Bambú – Guadua. La primera se conoce como reproducción sexual o por semilla, el cual no es un método muy práctico, debido a que la mayoría de las semillas son de bajo vigor y su aparición es muy esporádica. La segunda forma de reproducción es la asexual o vegetativa, la cual consiste en la propagación a partir de secciones de la planta como ramas, yemas, tallos y rizoma.

El sistema de reproducción más conveniente para la generación de plantaciones de Bambú – Guadua, se conoce como “reproducción por chusquines”. Estas son secciones delgadas de tallos con raíces que salen del rizoma y que se observan como forma de retoño. Está formado por el tallo, hojas, ramas y raíz, esta pequeña planta está unida mediante raíces al rizoma principal por convergencia a una profundidad aproximada de 15 centímetros y tienen diámetros que oscilan entre 0,1 y 1,5 milímetros y una altura promedio de 30 centímetros.

Condiciones de siembra

Las mejores condiciones donde se desarrollan este tipos de tallos, presentando un alto número de rebrotes en el menor tiempo posible, son terrenos donde se encuentren suelos franco arenosos con un historial de fertilidad, teniendo control sobre la humedad mediante riegos periódicos y por ultimo un control de malezas para evitar competencia de absorción de nutrientes. Cada planta está en capacidad de producir de 5 a 8 nuevas plantas en un tiempo promedio de cuatro meses.[21]

Para generar buenos rendimientos de reproducción y bancos de propagación con plantas de excelente calidad se recomienda tener en cuenta los siguientes pasos:

- Identificar los bosques fértiles que puedan tener tallos para la propagación por “chusquin”, en el caso del proyecto se cuentan con plantas de vivero que han tenido un óptimo desarrollo en viveros de bambú, ubicados en las selva norte del Perú.
- La separación del tallo o chusquin se debe realizar por medio de herramientas de jardinería que ayuden a evitar rupturas de los tallos, también se debe buscar que el tallo se extraiga con la mayor cantidad de suelo adherido a las raíces.
- La siembra de estas plántulas en el banco de propagación debe contar con sombra y con riego intenso durante los primeros 15 días sin llegar alcanzar la saturación del suelo, por tal razón se debe tener un control de permeabilidad del suelo.

- En el momento que se realicen los deshijes o trasplantes de nuevos tallos se debe hacer en condiciones de umbráculo, las plántulas obtenidas deben ser colocadas inmediatamente en recipientes con agua para evitar la deshidratación y el stress en las plantas. Lo anterior garantiza mayores porcentajes de prendimiento y reproducción.
- Cuando las plántulas más vigorosas en los bancos de propagación son llevadas a condiciones de vivero se debe tener una temperatura de 30°C y una humedad relativa de 75% al 85%, se presentan porcentajes de prendimiento superiores al 98%.
- El agua es el factor más importante para que las plántulas prendan, se debe buscar la siembra o propagación en épocas de lluvia, el suelo debe permanecer húmedo los primeros 30 días de sembrada la planta.
- Siempre se debe mantener libre de malezas alrededor de la planta, la ausencia de vegetación favorece el desarrollo de la plántula, se debe aplicar materia orgánica en la zona de plantación, aproximadamente 1 kg/planta.

Factores climáticos

El Bambú – Guadua muestra una gran adaptabilidad en cuanto a condiciones climáticas, se presentan plantaciones en climas cálidos, templados y fríos, presentando un comportamiento aceptable a condiciones ambientales variables. El análisis de los factores climáticos se enfoca en aspectos ambientales como lo son; temperatura, altura sobre nivel del mar, precipitación, latitud, brillo solar y humedad relativa.

- Temperatura

En Sur América se presentan plantaciones de Bambú – Guadua se encuentran en un límite inferior de adaptabilidad correspondiente a 16 °C, la mínima media que puede soportar es 13 °C y la media máxima es de 36 °C. El rango óptimo de temperatura oscila entre 20 y 26°C, cuando la plantación se desarrolla en entornos que presentan valores fuera de este rango los diámetros y las alturas de los tallos se reducen notoriamente en comparación con las plantas que se encuentran dentro del rango óptimo, esto afecta al desarrollo vegetativo de la planta. La variedad de las temperaturas pueden favorecer o perjudicar el comportamiento de la plantación, cuando se presentan temperaturas altas el desarrollo vegetativo presenta tiempos óptimos y cuando las temperaturas son bajas el tiempo que toma para llegar a desarrollos vegetativos óptimos pueden oscilar entre un 20 y un 40% mayor al tiempo que se toma en un clima cálido, siendo un factor decisivo para un proyecto de aprovechamiento comercial.[21]

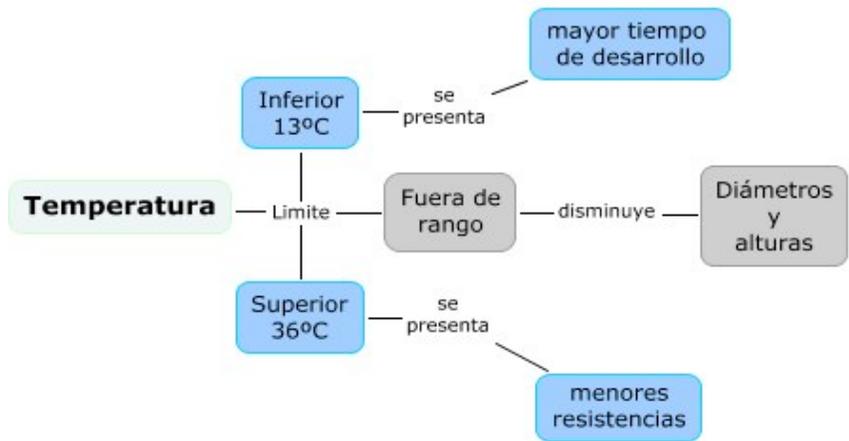


Figura N°14. Factor climático, temperatura

Altura sobre el nivel del mar

El comportamiento del Bambú – Guadua a diferentes alturas viene condicionado por las temperaturas que se presentan en los diferentes metros sobre el nivel del mar que se encuentre la plantación, se han presentado plantaciones desde los 40 msnm hasta los 2340 msnm. Cuando los bosques crecen en circunstancias de baja altitud, las altas temperaturas contribuyen a que los bosques presenten tallos de poca altura, aproximadamente 14 a 16m y menores diámetros, entre 6 a 8cm, con relación a los bosques que se desarrollan en alturas optimas las cuales están entre 1100 y 1600msnm, en donde presentan alturas promedio de 19 m con radios de 10 cm. Cuando se presentan bosques en altitudes mayores con temperaturas relativamente bajas en 12 y 15 °C, los promedios de altura se presentan entre 15 y 17m y los diámetros entre 6 y 8cm, también se ha observado que los tallos formados bajo estas condiciones presentan valores de resistencia fisico mecánica mayores en comparación a tallos que se encuentren en altitudes bajas.[22]

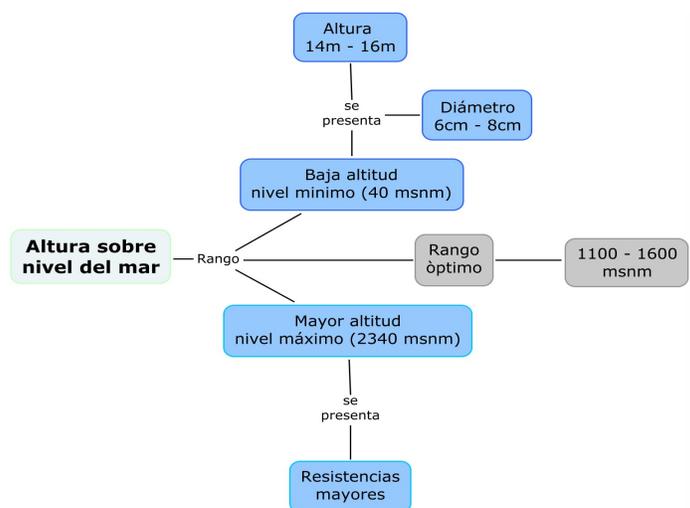


Figura N°15. Factor climático, Altura sobre el nivel del mar

Precipitación

Esta es la variable más importante que debe estar presente en la zona de plantación para poder tener crecimientos favorables del bosque. La especie crece bien en zonas cuyas precipitaciones alcanzan rangos hasta los 4000 mm/año y como rango mínimo se tiene datos de plantaciones que crecen con 1200 mm/año.[21]

Latitud

La zona endémica del Bambú – Guadua, se encuentra ubicada entre los 3 y 5° de Latitud Norte. Los bosques más desarrollados se encuentran a 4° de Latitud Norte. Este factor cobra importancia en los momentos que se quiere llevar la especie a otros lugares con latitudes diferentes debido a que existe una relación entre la temperatura la altitud y la latitud, a mayor latitud las temperaturas son mas bajas para una misma altura sobre el nivel del mar.

Brillo solar

Para un óptimo desarrollo de la especie el rango debe estar comprendido entre los 1800 y 2200 horas/luz/año. Se ha demostrado que a mayor brillo solar el desarrollo vegetativo de la planta es mucho mejor.

Humedad relativa

El rango que más favorece a los bosques de Bambú – Guadua esta comprendido entre el 75% y el 85%. Altas humedades relativas permiten el ataque de insectos y enfermedades a las plantas. A continuación se presenta un cuadro resumen de las condiciones climáticas optimas que deben presentarse para obtener un crecimiento adecuado de las plantaciones.

Tabla N°4. Condiciones climáticas para el bambú guadua

CONDICIONES CLIMÁTICAS PARA UN DESARROLLO ÓPTIMO DE LA GUADUA EN COLOMBIA	
VARIABLE	RANGO ÓPTIMO
TEMPERATURA (°C)	20 - 26
PRECIPITACIÓN (mm/año)	2000 - 2500
ALTITUD (msnm)	900 - 1600
BRILLO SOLAR (hr/luz/día)	1800 - 2200
HUMEDAD RELATIVA (%)	75 - 85
VIENTOS	Débiles - moderados

Elaboración propia. Fuente: Bambú Guadua, Hormilson Cruz Ríos

5.2.4.2 Parámetros de crecimiento

El desarrollo adecuado de un banco de propagación se debe revisar cuidadosamente con el fin de garantizar rendimientos adecuados de la plantación. A través del tiempo de desarrollo se debe registrar varios parámetros que ayudan a supervisar el comportamiento de las plantas en un

determinado intervalo de tiempo. Teniendo en cuenta las partes principales de la planta como lo son las raíces, tallo y hojas y observando la viabilidad de las mediciones, se desarrollan la toma de datos de los parámetros que están ligados a estas partes de la planta, los cuales se especifican en la Figura N°16.

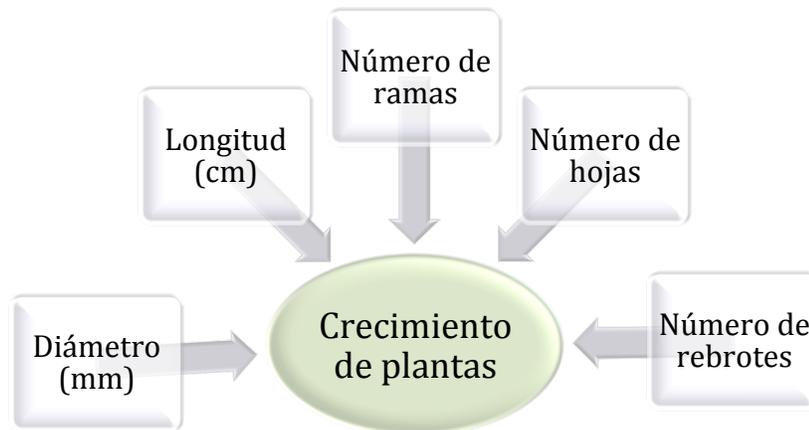


Figura N°16. Factor climático, Altura sobre el nivel del mar

Generalmente al inicio de la reproducción se presentan tallos delgados, con alturas comprendidas entre 10 y 30 cm, diámetros que oscilan entre 1 y 3 mm, presencia de nudos separados entre sí por entrenudos de 5 cm de longitud en promedio, entrenudos más largos que la parte basal reduciendo su longitud gradualmente hacia la parte apical. La plántula madre ideal generalmente posee un diámetro de 1,5 mm en su tallo; al mes y medio de sembrado sus brotes poseen 3 mm de diámetro en su tallo y a los tres meses, los tallos deben haber alcanzado un promedio de 5 mm.

La plántula sembrada con un solo tallo tiene un estado de adaptación de aproximadamente 20 días, empieza luego a presentar brotes de tallos nuevos que salen del rizoma. En promedio al mes de sembrado ya debe haber generado brotes visibles, el proceso es continuo y repetitivo hasta que se forma un aglutinamiento de plántulas con suficientes ramas y hojas capaces de seguir la producción de nuevos hijos, con la calidad de cumplir con todas sus funciones fotosintéticas. Cada nueva plántula posee un diámetro en su tallo mayor que la plántula que lo origino e igualmente, siempre posee un crecimiento en longitud mayor.

En las plantas los tallos tienen diversas funciones, una de ellas es sostener las ramas y las hojas encargadas de recibir la luz solar para la realización del proceso de fotosíntesis, la función principal de los tallos es conducir desde la raíz a las hojas y viceversa, soluciones ricas en elementos indispensables para el metabolismo de las plantas. Dependen del tamaño del rizoma que a su vez está regido por la capacidad de almacenamiento de reservas nutricionales, las condiciones climáticas y el desarrollo vegetativo de la planta. [22]

Las ramas se originan en la superficie de un tallo principal, estas ramificaciones, entre otras funciones le sirven de soporte a las hojas encargadas de los procesos de fotosíntesis. Las ramas pueden o no existir dependiendo del desarrollo y la edad del brote basal.

El color de las hojas se tiene en cuenta para ver el comportamiento de la planta ante las sustancias que tiene el suelo, dependiendo del color de las hojas se puede percibir si existe exceso de sales o ausencia de algunos nutrientes indispensables para su desarrollo óptimo.

Respecto a las raíces el parámetro a medir se presenta después de algunas semanas y es conocido como rebrote, es el primer estado de desarrollo de una planta sembrada, lo que implica la creación de un nuevo tallo principal que emerge del grupo de raíces originales. La hojas generalmente son pocas, entre dos y cinco, apicales, con dimensiones promedios de 7 cm de largo por 1 cm de ancho.

5.2.4.3 Trabajo de campo

El desarrollo del banco de propagación en el campus de la Universidad Agraria La Molina, estuvo condicionado al espacio existente, la disponibilidad de los recursos hídricos del campus y el material vegetal existente en Lima. Teniendo en cuenta las limitaciones presentadas en el desarrollo del proyecto, a continuación se explica las distintas etapas realizadas para la generación del banco de propagación:

1. Adecuación del terreno para la siembra de las plantas de Bambú – Guadua, se realizan tres parcelas de 3,25m x 0,90 m cada una. Se retira la capa vegetal del área seleccionada, cuidadosamente para poder reutilizarla en zonas donde no se cuente con césped. También se debe procurar retirar la mayor cantidad de raíces para disminuir la posibilidad de crecimiento de césped en esta zona, porque este tipo de vegetación puede llegar a quitarle nutrientes a las plantas de Bambú – Guadua. Figura N°17.



Figura N°17. adecuación de parcelas. Lima – Perú, Octubre 2012

2. Acondicionamiento de plantas, siembra de chusquines. Las plantas se piden a un vivero que se encuentra a las afueras de la ciudad de Lima, las plantas vienen sembradas en bolsas pequeñas, de donde se desplantan y se obtienen entre 2 o 3 plantas por bolsa.



Figura N°18. plantas de Bambú - Guadua. Lima – Perú, Octubre 2012

Se obtienen 54 plantas las cuales son distribuidas de la siguiente manera:

Parcela A	19 plantas
Parcela B	15 plantas
Parcela C	20 plantas

La distribución se genera debido a la disponibilidad de agua que tiene cada sistema, para la parcela B, se tiene una limitación de agua debido a que el canal se abre dos veces a la semana, por tal razón se prefirió dejar menor número de plantas, para tener un menor consumo de agua en esta parcela.

- Siembra de cada una de las parcelas, las plantas se ubican en una forma denominada tres bolillo, el cual permite ubicar una mayor cantidad de plantas en un área reducida. Aproximadamente una densidad de 4 plantas/m².



Figura N°19. Siembra de Bambú - Guadua. Lima – Perú, Octubre 2012

- Instalación de mallas de protección para el viento, debido a las fuertes olas de viento que llegan a la zona, las plantas se pueden ver seriamente afectadas. Se utilizan mallas recicladas de los viveros de la facultad de agronomía. Previamente se identifica los sectores por donde golpea el viento y se procede a instalar el cerramiento, el cual tiene forma de L.



Figura N°20. Protección del viento Lima – Perú, Noviembre 2012

Prueba de laboratorio: análisis foliar

Además del seguimiento en campo de los parámetros de crecimiento de las plantas se realizó una prueba de laboratorio conocida como análisis foliar, la cual se encarga de analizar la cantidad de nutrientes tales como el nitrógeno (N), potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), sodio (Na), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), hierro (Fe) y boro (B), que contiene la planta. Además de permitir detectar carencias nutricionales en el cultivo, el análisis es básico en los casos en que se aplica fertirrigación, debido a que permite corregir los desequilibrios nutritivos que la planta pueda presentar. Es catalogado como un ensayo destructivo debido a que se arrancan algunas hojas de las plantas para hacer analizadas, las hojas a muestrear se toman de la zona media de la planta, se deben coger hojas enteras, que no estén dañadas, ni atacadas por plagas ni enfermedades, la cantidad de muestra media aconsejada es de unas 50 hojas.

Se tomaron muestras de cada una de las plantas sembradas en cada parcela, separando las muestras por parcelas, con el fin de obtener un resultado general por parcela. La prueba se llevó a cabo después de 16 semanas de iniciado el proyecto, además solo se pudo realizar un ensayo de análisis foliar debido a sus altos costos económicos que no podían ser costeados por el proyecto. Se tomó la decisión de realizarlo en las últimas semanas para poder observar cómo se encuentran las plantas al final del proceso y poder compararse con datos teóricos de bancos de propagación que se encuentran en Colombia donde presentan inmejorables condiciones climáticas presentando excelentes resultados de crecimiento.

5.2.5 Mejoramiento del suelo

Una de las formas más prácticas, rápidas y económicas es desarrollar bancos de propagación directamente en el suelo, por tal razón las características del suelo deben ser tomadas en cuenta de una manera rigurosa garantizando un buen comportamiento de la plantación. El suelo seleccionado debe ser lo más suelto posible, sin importar su profundidad debido a que en tan sólo 3 o 4 meses las plantas deben ser trasplantadas y sus raicillas son muy superficiales. Una buena selección del suelo favorece al crecimiento de la planta y además favorece a la comunidad que está desarrollando estos bancos de propagación por que presentaran un desarrollo más rápido de la plantación, un mayor número de tallos, mayores diámetros y una mayor velocidad de producción.

En el caso puntual de la zona del proyecto, las condiciones del suelo no eran las mejores, era un

suelo que anteriormente había tenido usos constructivos y por tal razón se encontraban algunos residuos de material de construcción aproximadamente a 60 cm de profundidad. Actualmente se había habilitado un césped que mejoro notoriamente la composición del suelo, agregándole una porción importante de materia orgánica que antes era mínima, aunque puntualmente en el área destinada para el desarrollo del banco de propagación la siembra del césped no se había realizado en su totalidad.

5.2.5.1 *Parámetros óptimos del suelo*

El suelo y ante todo la textura del mismo, se convierte después de la cantidad de agua de riego en el factor más determinante para un buen desarrollo de los bancos de propagación sembrado directamente en el suelo.

Dentro de las propiedades del suelo más importantes se encuentra el pH, el cual es un factor corregible que puede ser elevado o disminuido según sea el caso. Los mejores desarrollos de bancos de propagación se han presentado en suelos ligeramente ácidos, entre valores de pH 5.5 y 6.5. Cuando se presentan valores mayores de 8, no favorecen al desarrollo de la plantación, también se presentan desarrollos pobres cuando se tienen valores inferiores a 4.5.

Otro apartado importante del suelo para desarrollar plantaciones con buenos resultados, son las características físicas del mismo, compuestas por la textura, conductividad eléctrica, humedad y porosidad. De acuerdo a la textura se recomienda suelos areno limosos, franco arenosos, suelos aluviales, derivados de cenizas volcánicas, en donde se han presentado desarrollos óptimos de plantaciones son suelos que contienen 63% de arena, 19% de limos y 18% de arcillas.

Con respecto a la conductividad hidráulica se recomiendan valores mayores a 50 cm/h, en donde se puede apreciar la infiltración del agua sin presentar encharcamiento. La porosidad promedio debe estar en 70%, debido a que el aumento de la porosidad incrementa la retención de humedad y reduce la compactación en el suelo lo que ayuda a tener un estrato suelto.[23].

Es importante saber que el Bambú – Guadua se puede desarrollar en suelos con condiciones pobres de fertilidad, pero los desarrollos también serán muy bajos, presentándose desarrollos muy lentos, por tal razón se debe tener claro el uso que tendrá la plantación, como posible bosque protector o como bosque comercial.

5.2.5.2 *Trabajo de campo*

Unos de los detalles más notorios del suelo antes de comenzar el banco de propagación era su bajo grado de infiltración que presentaba el área de trabajo. Se realizaron dos riegos previos antes de realizar la siembra y se presentó encharcamiento y al momento de secarse el suelo quedaban manchas blancas que mostraban posibles exceso de sales en el suelo. Una causa significativa de la baja producción de una plantación de bambú-guadua es la cantidad de agua que se debe suministrar a las plantas, por tal motivo se busca en primera medida aumentar la cantidad de agua que ingresa al suelo (aumentar la capacidad de infiltración), disminuir las pérdidas de humedad que se puede presentar por medio de escorrentía y procesos de evaporación.

Como medida de mejoramiento del suelo se aplica compostaje natural y humus natural, realizado en los viveros de la facultad de Agronomía, el compostaje cuenta con un pH de 7, este valor se encuentra en el límite del intervalo que aconsejan las especificaciones del tipo de suelo óptimo para la siembra de bambú – Guadua. Cada parcela se le suministra 25 kg de compostaje y 4 kg de humus. Para finalizar las tareas de mejoramiento del suelo, se aplica hojas secas y césped seco,

para aumentar la humedad en el suelo.



Figura N°21. Mejoramiento del suelo y aumento de humedad Lima – Perú, Noviembre 2012

Los trabajos de mejoramiento de suelo tienen como objetivo principal mejorar la capacidad de infiltración del suelo por medio de la adición de humus, compostaje, hojas secas y césped seco, este sistema conocido en el campo como “mush natural”, el cual genera una capa vegetal donde el agua se encuentra en contacto con el suelo, manteniéndolo húmedo durante gran parte del día, además de aumentar la capacidad de infiltración, el agua toma los nutrientes que contiene el compostaje, el humus y la degradación de la hojarasca, aumentando la proporción de nutrientes que se puedan presentar en el suelo.

- Análisis de suelos

Se realizaron dos análisis de caracterización de suelos, la segunda semana después de haber iniciado la plantación y la última semana del proyecto (semana 17). Se prepararon tres muestras de aproximadamente 1 kg por cada parcela, la toma de la muestra se recogió de los extremos y del medio de cada parcela, con el fin de generar una muestra representativa, la obtención de la muestra debía ser de aproximadamente 30 cm de profundidad, debido a que a esta profundidad se podrían encontrar en contacto con la raicillas de la plántula.

Los parámetros que se miden en esta caracterización del suelo son, el pH del suelo, la conductividad eléctrica, , el porcentaje materia orgánica, la concentración de carbonato de calcio, fósforo (P), potasio (K), el tipo de textura y la capacidad de intercambio iónico.

5.2.6 Sistemas de riego

Una vez realizada las conducciones del agua de riego, y considerando que en este proyecto el agua es captada por diferentes infraestructuras, la siguiente etapa es garantizar una distribución de agua de forma uniforme sobre la superficie del campo. El método de riego mediante el cual se realice esta operación es de gran importancia en la obtención de la eficiencia adecuada de riego.

Los métodos de riego, cuando son operados correctamente, están diseñados de tal manera que permiten optimizar la eficiencia agronómica del riego. Es conveniente señalar que cada método de riego en forma específica tiene una eficiencia de diseño,. Los valores de eficiencia de diseño indican en buena medida que proporción del agua realmente es infiltrada y retenida por el suelo

para que sea evapotranspirada por todas las plantas del cultivo.

- El diseño del sistema de riego; dimensiones y orientación del campo regado, pendiente, infraestructuras de abastecimiento de agua, control de caudales, etc.
- Los caudales utilizados y la dirección del flujo de agua sobre la superficie del suelo durante el riego.
- La frecuencia de riego, que en este caso determina el contenido de agua del suelo en el momento previo a la aplicación.
- El tiempo de riego adecuado para que se produzca de manera óptima el proceso de infiltración.

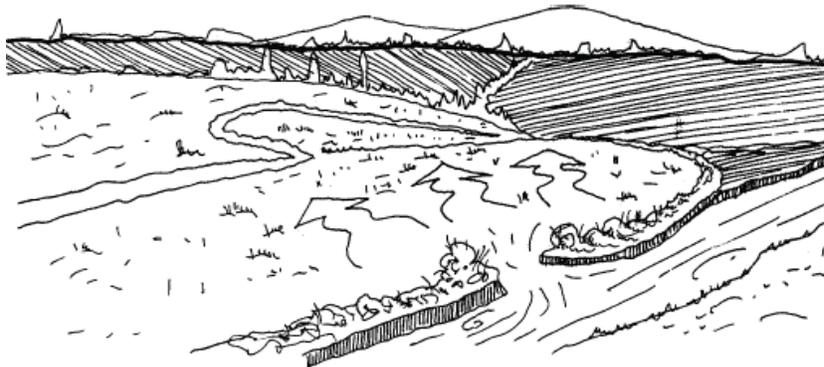
Entre las características hídricas de los suelos regados se cuentan con los siguientes aspectos que pueden llegar a determinar la eficiencia del riego;

- La velocidad de infiltración del agua, es decir la propiedad del perfil del suelo de permitir el flujo descendente del agua.
- Las características de retención del agua en el suelo
- La profundidad del perfil del suelo y sus condiciones de estratificación, que determinan las diferentes capacidades conductivas del perfil total frente al agua.
- La densidad aparente de los diferentes estratos del perfil del suelo.

5.2.6.1 Descripción de técnicas de riego eficiente

Riego por tendido

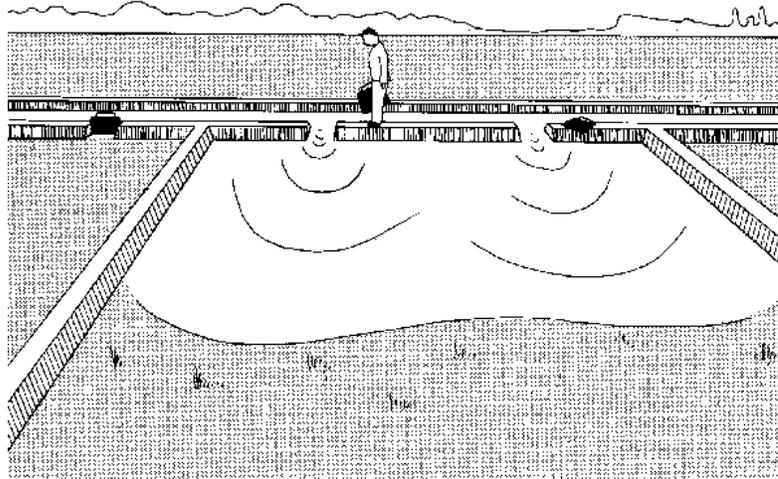
Consiste en derramar agua desde una reguera o canal, artificial en hormigón o recubierto con geotextil o natural, a lo largo del extremo superior de un campo en pendiente. El agua escurre sobre la superficie del terreno por gravedad, se aconseja construir canales interceptores perpendiculares al flujo del agua para recogerla y volverla a distribuir uniformemente. Se puede utilizar en terrenos con pendientes entre 2 – 6%.



Fuente: www.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR08945.pdf

Riego por borde

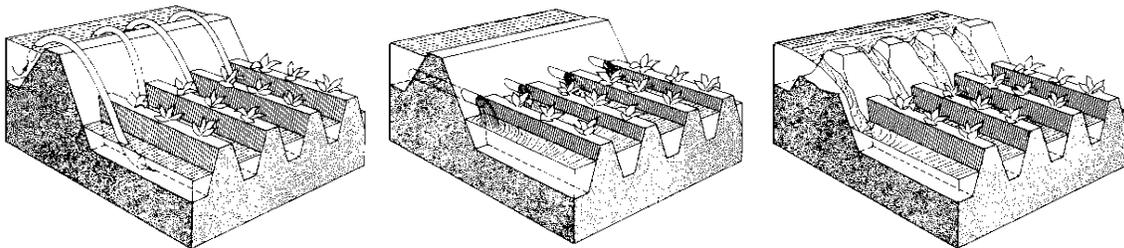
Se requiere de un suelo previamente nivelado, se tolera un desnivel máximo de 2 – 3% y es necesario disponer de un gran caudal. El método consiste en aplicar agua por medio de un canal de distribución principal el cual tiene salidas por donde el agua corre por franjas de terreno niveladas, limitadas por bordes. Se debe disponer de estructuras de control y distribución de caudal, para lograr un buen manejo del agua, de manera que la altura del agua no sobrepase la altura de los bordes. Este método es el más conveniente para campos que tienen superficies a partir de 4 hectáreas.



Fuente: <http://www.fao.org/docrep/r4082e/r4082e06.htm>

Riego por surcos

Este riego consiste en la entrega del agua desde un punto principal el cual puede ser una zanja o canal principal, sifones de almacenamiento a lo largo de la plantación, esta distribución principal está ubicada perpendicular al flujo que debe seguir el agua, la entrega del agua se hace a pequeños canales o surcos ubicados en las hileras de siembra o plantación. La eficiencia de este método alcanza el 50%, es decir por cada 100 L regados, 50 L quedan disponibles para las plantas, para aumentar la eficiencia se requiere un suelo sin desniveles, debido a que puede ocurrir acumulación de agua.[24]



Fuente: <http://www.fao.org/docrep/r4082e/r4082e06.htm>

Riego por aspersión

El agua se aplica en forma de llovizna, producida mediante el paso del agua a presión a través de tuberías con pequeños orificios. Esta presión se obtiene normalmente por medio de una bomba centrífuga o cargas producidas por las diferencias de nivel. Presenta una alta eficiencia de aplicación del agua y uniformidad en su penetración en el perfil del suelo; ello hace recomendable su uso cuando hay una disponibilidad limitada de agua o cuando se presenta en el terreno una alta tasa de infiltración.

Riego por goteo subterráneo

La micro irrigación, es un sistema de riego que tiene la capacidad de llegar fácilmente a la raíz de la planta y disminuir las pérdidas por evaporación. Este sistema consiste en suministrar agua a 25 cm de profundidad, empleando pequeños tubos de polietileno de 5 mm de diámetro. Los micro tubos localizan el agua puntualmente en la raíz de la planta, con esto se aumenta la humedad en el perfil superficial. Uno de los hechos más destacables es la mínima cantidad de agua que aporta entre 1.5 y 3 L por planta, de esta forma se presenta una eficacia importante y una mínima evaporación. [25]

Riego por goteo

Es un sistema que proporciona agua filtrada directamente sobre el suelo al lado de la planta. Este sistema elimina la aspersión y el agua fluye sobre la superficie del suelo, se libera a baja presión en punto de emisión, mojando el perfil del suelo en forma predeterminada. Si el sistema está adecuadamente instalado y controlado, el riego por goteo puede ayudar a realizar importantes economías de agua por la reducción de la evaporación.

A continuación la tabla N°5 presenta un resumen de las eficiencias de cada uno de los riegos dependiendo de la aplicación, el almacenamiento y la distribución del riego en las plantaciones.

Tabla N°5. Eficiencias de los diferentes métodos de riego

EFICIENCIAS POSIBLES DE ALCANZAR CON DIFERENTES METODOS DE RIEGO EN UNA SITUACIÓN ÓPTIMA DE DISEÑO Y OPERACIÓN			
Método de Riego	Eficiencia de Aplicación (%)	Eficiencia de Almacenamiento(%)	Eficiencia de Distribución (%)
Tendido	40	85	60
Surcos	55	85	75
Bordes	60	90	70
Aspersión	90	100	85
Goteo	95	100	90

Elaboración propia. Fuente: Fundamentos y diseño de sistemas de riego [26]

5.2.6.2 Trabajo de campo

Observando el área de riego que se tiene para el desarrollo del banco de propagación, el presupuesto limitado para la implementación del riego, los factores climáticos de la zona y la disponibilidad de agua con la que se cuenta para el riego de las plantaciones, se estudiaron los diferentes sistemas de riego para escoger la técnica de riego más adecuada;

- Riego por tendido; Se suele utilizar par el riego de cultivos de siembra densa, por lo cual no es muy compatible con el tipo de siembra que se desarrolla en el banco de propagación, también presenta bajos niveles de eficiencia de aplicación, con un promedio de 30%, debido a las pérdidas por escurrimiento superficial y percolación profunda, para aumentar su eficiencia se debe producir subdivisiones del terreno lo cual implica una alta demanda de mano de obra.
- Riego por borde; uno de sus principales inconvenientes para ser empleado en el proyecto es la alta cantidad de agua que requiere para regar, además su eficiencia se comporta mejor en cultivos densos, en este sistema como en el anterior el agua estaría completamente descubierta aumentando sus índices de evaporación, por tal razón no es una opción viable para el riego del banco de propagación.
- Riego por aspersión; es un sistema que al implementarlo en una zona de menos 15 m² de área, seria generar un sobre dimensionamiento del riego, debido a que este sistema presenta buenos comportamientos en áreas mayores. Otro tema importante es la cantidad de horas sol que se presentan en la zona y la alta posibilidad de evaporación que se presentaría

Después de descartar algunos sistemas de riego, se realiza la elección entre los sistemas que se acomodan de mejor manera a las condiciones ambientales, topográficas y económicas de la zona del proyecto, a continuación se especifica los pro y los contra de los sistemas seleccionados y se presenta el sistema escogido y desarrollado para la generación del banco de propagación.

- ✓ Riego por surcos; es un sistema que consigue en forma fácil una aplicación uniforme del agua en el del suelo, además presenta un buen control del caudal en los surcos, los costes de aplicación son relativamente bajos, especialmente la mano de obra, en nuestro caso puntual, el área es tan pequeña que la construcción de los surcos sería muy sencilla. Debido a las dimensiones del banco de propagación y a la distribución de las diferentes tipologías de agua, la realización de un canal de conducción para cada parcela no es posible y el riego seria directo desde el tanque de almacenamiento al surco, además las altas exposiciones al sol que se presentan en la zona aumenta la posibilidad de tener pérdidas elevadas por evaporación.
- ✓ Micro riego subterráneo; es un sistema adecuado para la zona del proyecto, la eficiencia que presenta es adecuada, además tiene en cuenta que el agua llegara directo a la raíz y por tal razón se puede realizar un fertirriego con los diferentes tipos de agua. Sin embargo este sistema se desechó para su uso ya que no se contaba con el material adecuado para desarrollar una red debajo de la superficie, las mangueras estarían disponibles varios días después, y no se podía dejar pasar días sin comenzar a realizar el proyecto debido a que ya se tenía un retraso en el inicio del proyecto, además no se contaba con la seguridad de que los diferentes tipos de agua no llevaran cantidades representativas de sales las cuales

dañaran el comportamiento del sistema.

- ✓ Riego por goteo; es el sistema escogido para el banco de propagación. Es un sistema que garantiza la humedad del suelo y que las plantas reciban el agua puntualmente, evitando desperdicios y aprovechando de mejor manera el agua existente. Para la escogencia del sistema se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos;

⇒ Topografía del área de proyecto

⇒ Eficiencia del riego , debido a la escasez de agua con la que se cuenta

⇒ Disminuir pérdidas de agua por evaporación

⇒ Facilidad de mantenimiento

⇒ Poca tecnología en la instalación del sistema de riego y funcionamiento. Bajo costo de instalación y funcionamiento

Para cada parcela se realizaron sistemas de riego que se componen de tanques de almacenamiento, tuberías de media pulgada y cintas de riego. Los métodos de control de caudal se integran por válvulas de control a la salida de los tanques de almacenamiento.

Se realizan aforos de caudal diario del riego, además se miden los valores de pH y conductividad eléctrica del agua, con el fin de controlar la calidad y cantidad del agua.



Figura N°22. Sistemas de riego Banco de propagación Lima – Perú, Noviembre 2012

5.2.7 Aprovechamiento del Bambú – Guadua

En este apartado se demuestra el por qué se escogió la propagación del Bambú-guadua, los beneficios que trae a las comunidades implicadas, la importancia del uso de este material en con respecto a temas ambientales y las utilidades que presenta el material.

5.2.7.1 Características ambientales del bambú

En cuanto a las características ambientales que presenta el Bambú – Guadua, se puede observar cuatro campos de acción importantes los cuales son: gestión de agua, captación de CO₂ y la protección del suelo.

- Gestión de Agua

Se conocen diversas investigaciones desarrolladas en Latino América y Asia, que los bosques de Bambú-Guadua actúan como reguladores de la calidad y la cantidad del agua siendo parte esencial en el manejo de cuencas hidrográficas, los bosques ejercen control en sedimentos que forman barreras que evitan la pérdida de los caudales de los ríos y además la cubierta boscosa de su dosel actúa como protección de las corrientes de agua impidiendo su evaporación.

El sistema entretejido de las raíces presentes en los bosques ubicados en las riberas de los ríos, actúan como un regulador de caudal natural, en épocas de lluvia toma grandes cantidades de agua para almacenarla tanto en su rizoma, tallo aéreo y suelo. Luego por efecto de concentración, el agua es regresada nuevamente al caudal de los ríos en épocas secas. En Colombia se registran datos de almacenamiento de agua en una hectárea de bosque de Bambú-Guadua de mas de 30.3m³. [27]

Como fuente potencial para el tratamiento de aguas negras, el Bambú-Guadua, se presenta como una alternativa a través del método de la zona de raíz, este es un tipo de tratamiento secundario debido a que se basa en la actividad bioquímica de microorganismos que remueven materiales disueltos, por medio de la acción de microorganismos que viven en la zona de las raíces. Aunque uno de los principales problemas a vencer es la adaptabilidad inicial de las plantas a medios saturados debido a que la planta es susceptible a los excesos de humedad.

- Captación de CO₂

Las plantas de Bambú-Guadua poseen una alta velocidad de crecimiento y una alta regeneración natural, lo que permite la formación de bosques en menores tiempos en comparación con otras especies forestales. Debido a estas propiedades se consideran unas plantas adecuadas para desarrollar bosques que tengan como único objetivo la captura de carbono y por ende la generación de oxígeno.

La gran cantidad de biomasa que produce se puede considerar que es de forma sostenible porque no es necesario resembrar después de un aprovechamiento, debido a la regeneración natural lo que permite ser un importante fijador de dióxido de carbono (CO₂), hasta el punto que su madera no libera a la atmosfera el gas retenido después de ser transformado en elemento constructivo o artesanal, sino que este gas queda fijo en las obras realizadas. La capacidad de fijación de CO₂ en un bosque natural de bambú-Guadua en Pereira – Colombia es de 76 T CO₂/ha en 7 años de análisis, con un espaciado de 4 x 4 m entre cepa. [28]. Otras investigaciones realizadas en Colombia y México muestran valores desde 53 T CO₂/ha en 6 años hasta 83 T CO₂/ha en 7 años.

- Protección del suelo

El sistema entretejido de raíces y tallos de las plantas de Bambú – Guadua, bajo el suelo forman un gran sistema de redes que amarra el suelo evitando su deterioro, este entramado cumple funciones de cohesión de partículas coloidales. Desempeña un papel importante en los suelos con pendientes

pronunciadas y zonas ribereñas. Además la gran cantidad de hojarasca que producen los bosques actúan como material de amortiguación de las lluvias y con esto disminuyen riesgos de erosión del suelo, también entrega una cantidad de nutrientes importantes que ayudan para la fertilización natural de los suelos.[29]

5.2.7.2 Características constructivas del bambú

Este material aparte de todas sus bondades ambientales presenta unas condiciones interesantes para el uso como material constructivo y artesanal. La importancia en este rubro de desarrollo como lo esta la construcción se ha desarrollado a través del tiempo y por tal razón en las normativas de construcción sismo resistente de países como Colombia y Perú, presentan un capítulo destinado a la construcción con bambú-Guadua teniendo en cuenta todos sus parámetros constructivos.

Los principales parámetros que se han investigado en el material para poder generar un desarrollo constructivo en Colombia, Perú y México, son las propiedades mecánicas tales como el esfuerzo último a cargas de compresión paralelas, tracción paralela, flexión, módulo de elasticidad y corte paralelo a las fibras.

Los datos que a continuación se muestran fueron presentados en el “1^{er} WORKSHOP ACERO VEGETAL. Curso Internacional sobre Diseño y Construcción de Estructuras en Bambú – Guadua Angustifolia” realizado en Lima – Perú. Estos ensayos se realizaron en Colombia, con plantas nativas de la región, presentado en el este aspecto es de vital importancia debido a que plantas de otros lugares del mundo pueden presentar valores diferentes, por tal razón los resultados son aplicados en Colombia y pueden servir como referencia para desarrollar proyectos constructivos en otras zonas.

Tabla N°6. Propiedades mecánicas de la Guadua Angustifolia en Colombia

PROPIEDADES MECÁNICAS		
ESFEURZO	PROMEDIO (MPa)	PROMEDIO (kg/cm ²)
Compresión paralela	48	480
Tracción paralela	110	1100
Flexión	90	900
Módulo de elasticidad	15000	150000
Corte Paralelo	7	70

Elaboración propia. Fuente: López L (2009)[28]

Tabla N°7. Esfuerzos admisibles de la Guadua Angustifolia en Colombia

ESFUERZOS ADMISIBLES		
PRUEBA	σ_{med} (MPa)	σ_{adm} (MPa)
Tracción	53.5	17.6
Compresión paralela	43.9	14.0
Flexión	36.3	17.0
Corte paralelo	6.9	1.1
Corte perpendicular	-	1.7

Elaboración propia. Fuente: López L (2009)[28]

Gracias a estas muestras desarrolladas las instituciones gubernamentales han adelantado normativas que regularizan el uso del Bambú – Guadua como un material estructural de buena calidad, teniendo en cuenta aspectos técnicos como lo son el tiempo de corte, la preservación, el secado y el uso constructivo. A continuación se ilustran las tablas de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad para el diseño estructural de acuerdo a la Norma Técnica E-100 Bambú de Perú y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

ESFUERZOS ADMISIBLES				
FLEXION (f_m)	TRACCION PARALELA (f_t)	COMPRESION PARALELA (f_c)	CORTE (f_v)	COMPRESION PERPENDICULAR ($f'_{c\perp}$)
5 Mpa (50 Kg/cm ²)	16 Mpa (160 Kg/cm ²)	13 Mpa (130 Kg/cm ²)	1 Mpa (10 Kg/cm ²)	1.3 Mp (13 g/cm ²)
MÓDULO DE ELASTICIDAD (E)				
E_{PROM}		E_{MIN}		
9500 Mpa (95000Kg/cm ²)		7300 Mpa (73000 Kg/cm ²)		

Fuente: Norma Técnica E-100 Bambú, Perú

Esfuerzos admisibles F_i (MPa), CH=12%

F_b Flexión	F_t Tracción	F_c Compresión	$F_{p\perp}$ Compresión \perp	F_v Corte
15	18	14	1.4	1.2

Módulos de elasticidad, E_i (MPa), CH=12%

Módulo promedio $E_{0.5}$	Módulo percentil 5 $E_{0.05}$	Módulo mínimo E_{min}
9.500	7.500	4.000

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

5.2.7.3 Trabajo de campo

Durante la realización del proyecto surgieron varias preguntas, las principales que se plantearon fueron: ¿cómo se puede aprovechar adecuadamente el material finalizado?, ¿que beneficios traerá el desarrollo de bancos de propagación de Bambú – Guadua?. Principalmente las respuestas a estas preguntas deben estar dirigidas a las comunidades implicadas por medio de herramientas teórico prácticas como lo son talleres de aprendizajes y Workshop.

Paralelamente con la anterior actividad práctica se lleva a cabo una segunda actividad principal, la difusión de conocimientos por medio de conferencias a algunos alumnos de la UNALM, los cuales se encuentran estudiando carrera de zootecnia, ingeniería agrícola y agronomía.



Figura N°23. Conferencia UNALM. Lima – Perú, Octubre / Noviembre 2012

En la fase final del proyecto se elaboró un Workshop “Conocimientos Básicos para un Aprovechamiento Sostenible del Bambú – Guadua” dirigido a estudiantes y profesionales de los campos de la arquitectura, ingeniería agrícola, ingeniería civil, diseñadores y profesores de la UNALM. Se desarrolló una presentación teórica y un taller práctico de construcción en Bambú – Guadua.

Los objetivos del Workshop fueron los siguientes:

- » Mostrar las fortalezas y debilidades de la *Guadua angustifolia*, teniendo en cuenta aspectos ambientales, económicos y sociales.
- » Difundir la importancia de realizar un aprovechamiento sostenible de las plantaciones de *Guadua angustifolia*.
- » Analizar la conexión entre la siembra, la propagación y el aprovechamiento de la *Guadua angustifolia*.

La sección teórica se estructuró de la siguiente manera:

Plantación	Preservación	Aprovechamiento
<ul style="list-style-type: none">• Factores climáticos• Suelos• Propagación• Corte• Importancia	<ul style="list-style-type: none">• Inmunización• Secado	<ul style="list-style-type: none">• Artesanías• Material de construcción• Laminados

La sección práctica se desarrolló en dos días cada uno de aproximadamente 8 horas de clase. Se explicaron los cortes básicos que se realizan en las obras civiles, empalmes entre vigas y columnas, cimentaciones superficiales, conceptos básicos de selección del material y de los lugares adecuados de cortes en el Bambú. Las constancias de elaboración se presentan en el Anexo A.



Figura N°24. Workshop “Conocimientos Básicos para un Aprovechamiento Sostenible del Bambú – Guadua”. parte práctica, Octubre / Noviembre 2012

Propuesta constructiva

Se desarrolló una propuesta para la construcción de un espacio educativo en donde su principal función es realizar actividades académicas en el ámbito medio ambiental, para que la comunidad educativa de Lima y de todo Perú tenga la opción de asistir a cursos, conversatorios, exposiciones y demás actividades que ayuden a enseñar los beneficios que trae la sostenibilidad al desarrollo de las comunidades.

El proyecto constructivo se compone de una edificación de una sola planta de 75 m², destinada para el desarrollo de actividades educativas, con una capacidad aproximada de 30 personas sentadas, cuenta con un espacio interior amplio que permitirá desarrollar talleres teórico prácticos..

La estructura esta compuesta de un esqueleto en Bambú-Guadua, nativo de la selva norte de Perú. Los pórticos estructurales tienen luces de no más de 3,50 m, para facilitar el corte del material y reducir la producción de piezas sobrantes. El diseño estructural se debe desarrollar en el momento que se acepte la propuesta por parte de la Universidad Nacional Agraria La Molina, y debe estar regido a la norma técnica de construcción sismo resistente de Perú E-100.

A continuación se desarrolla de manera abreviada los pasos técnicos que se deben tener en cuenta para el desarrollo de construcciones en Bambú – Guadua. Los detalles de uniones y empalmes estructurales y los planos arquitectónicos se encuentran en el Anexo A.

Cimentación

Se realiza una cimentación superficial, que cuenta con una viga corrida en las cuales se encuentran pequeños pedestales en donde se conectarán las columnas de Bambú – Guadua, el detalle estructural de unión columna pedestal se encuentra en el plano P-08, (Anexo A). También se realiza una placa de cimentación flotante la cual debe presentar dilataciones longitudinales cada 1,98m y transversales cada 1,70m, el detalle de la placa se encuentra en el plano P-05 (Anexo A)

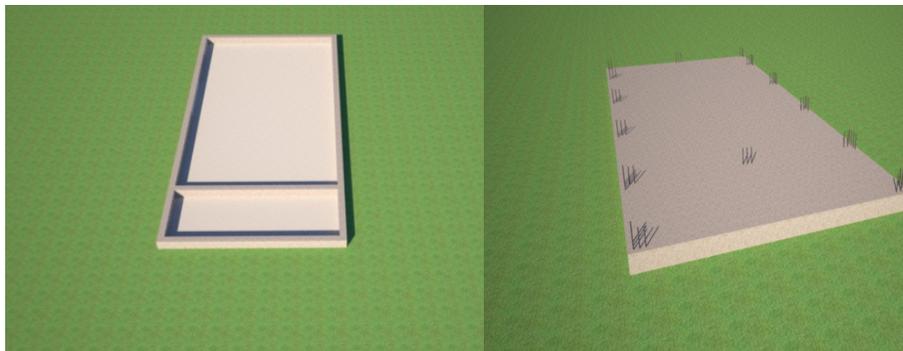


Figura N°25. Cimentación superficial Aula Ambiental

Estructura

Las columnas y vigas, se unen por medio de empalmes que se componen de cortes conocidos como “bocas de Pescado”, las cuales permiten un acople seguro, el detalle de unión se encuentra en el plano P-06 (Anexo A). Los cortes deben estar en promedio 3 cm arriba del entre nudo más cercano, con el fin de mejorar el comportamiento del material ante las cargas.

Los materiales que se usan para hacer parte de la estructura deben contar con tratamientos biológicos y químicos que garanticen la calidad, evitando el ataque de insectos, hongos y demás amenazas que lleguen a disminuir sus capacidades físico mecánicas.

En los pórticos se debe cuidar de no tener longitudes en vigas no mayores a 2m sin tener un apoyo, el cual se puede producir por medio de diagonales que ayuden de apoyos, si se presentan longitudes mayores se debe consultar la norma técnica, la cual indica empalmes estructurales, en nuestro caso estas longitudes no se presentan, facilitando a construcción.



Figura N°26. Estructura Aula Ambiental

Cubierta

La cubierta es una estructura a tres aguas con pendiente invertida, el esqueleto se elabora con varillas de Bambú – Guadua, con diámetros de 8cm, para las correas y diámetros de 9cm , para las vigas perimetrales y central. El recubrimiento se realiza en esterilla de Bambú – Guadua, la cual se clava a la estructura, esta cubierta se recubre con un geotextil para protegerla de la humedad, y después se puede recubrir con mortero o directamente con alguna teja de uso común en la zona.

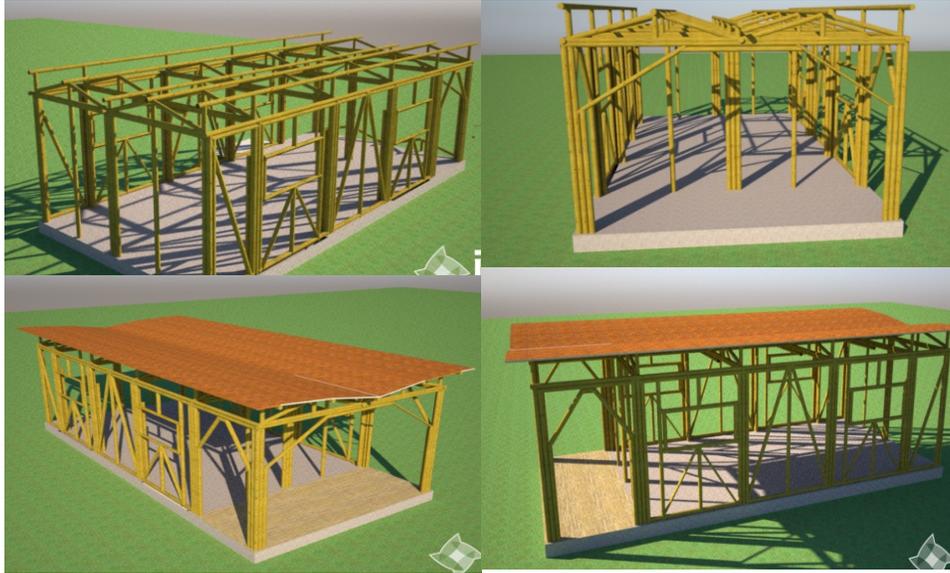


Figura N°27. Cubierta de pendiente invertida en Aula Ambiental

Muros

Los pórticos perimetrales se recubren de esterillas, las cuales van clavadas al esqueleto del pórtico, se incorpora un alambre de rombos hexagonales, conocido en la zona como alambre de gallinero el cual aumentará la capacidad de adherencia del mortero de pega que se aplica como recubrimiento, se recomienda una relación de 1:2, para una mejor trabajabilidad del mortero.



Figura N°28. Instalación de muros en Aula Ambiental

Aula ambiental



Figura N°29. Modelo general en 3d de Aula Ambiental

6 Resultados y discusión

6.1 Datos climatológicos y geográficos

A continuación se presenta los datos climatológicos y geográficos de la zona durante el periodo en que se realizó el proyecto.

Tabla N°8. Datos climáticos y geográficos La Molina - Lima

CONDICIONES CLIMATICAS Y GEOGRAFICAS EN LA ZONA DEL PROYECTO LIMA - PERÚ	
Temporada: Octubre - Diciembre 2012	
Variable	Valor promedio
Temperatura (°C)	15- 24
Precipitación (mm/mes)	0
Altitud (msnm)	241
Latitud	12° latitud sur
Brillo solar (h/luz/día)	5
Humedad relativa (%)	90

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los parámetros climatológicos y geográficos mencionados en el apartado de 5.2.4.1 factores óptimos de crecimiento, versus los datos registrados en campo, se observaron que los cambios mas significativos se presentaron en los datos de temperatura, altitud, latitud y precipitación, presentando valores por fuera del rango optimo de crecimiento.

La temperatura mínima presentada en la zona esta 5 °C debajo del dato optimo de crecimiento, lo cual aumenta los tiempos de desarrollo de las plantas. La altitud de la zona esta 650 msnm por debajo del dato optimo, este aspecto generara plantas de diámetro entre 6 – 8cm y alturas entre 14 – 16m. La diferencia que mas resalta en la precipitación, la cual es la principal ausente en esta zona siendo el principal factor de mortandad de las plantaciones, la falta de agua garantiza el fracaso en el desarrollo de una plantación de Bambú – Guadua.

6.2 Medición del caudal

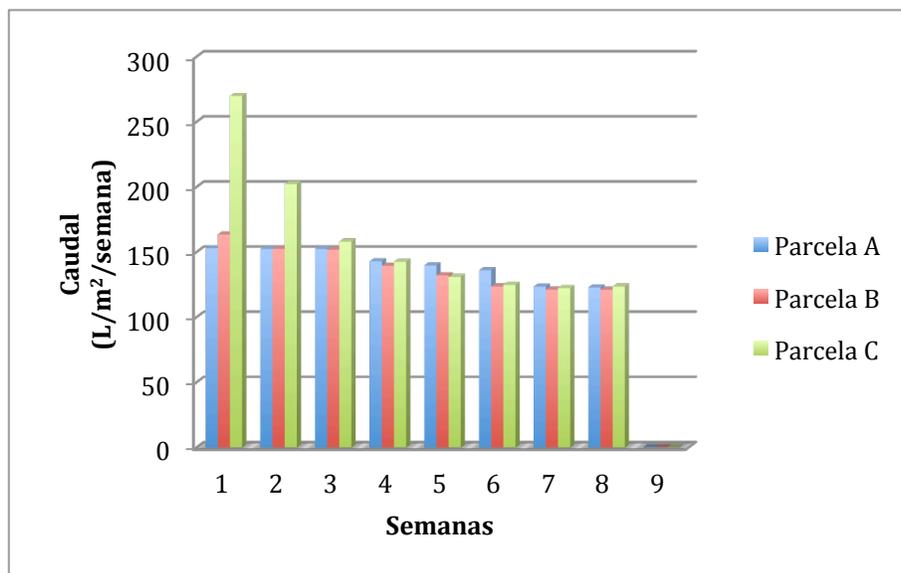
Se realizan tres aforos semanales la primera medición se realiza los lunes en la tarde y martes en la mañana, el siguiente es el día miércoles en la tarde y jueves en la mañana y por ultimo el viernes en la tarde y en la mañana.

Partiendo de los valores recogidos en los aforos realizados se calculó la cantidad de agua regada en un metro cuadrado durante una semana, se tiene en cuenta que en este espacio en promedio se siembran 4 plantas. En la tabla N°8, se presentan valores del caudal regado durante una semana por metro cuadrado para cada una de las parcelas.

Tabla N°9. Consumo de agua en las parcelas del banco de propagación

CONSUMO DE AGUA (L/m ² /Semana)			
Semana	Parcela A Q(L/m ² /semana)	Parcela B Q(L/m ² /semana)	Parcela C Q(L/m ² /semana)
1	152,9	163,4	269,7
2	152,2	152,4	202,1
3	152,2	151,8	157,9
4	142,8	139,5	142,5
5	139,7	132,1	130,9
6	136,0	123,5	124,7
7	123,4	121,0	122,3
8	122,8	121,0	123,5
9	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0
11	120,3	120,4	122,9
12	121,5	122,3	122,9
13	122,8	120,4	123,5
14	121,5	121,0	122,3
15	127,8	121,0	123,5
16	121,5	120,4	122,9
17	123,4	123,5	121,0

A continuación en la figura N°30, se ilustran los datos de caudal durante las 17 semanas del proyecto, un hecho que resalta es la ausencia de medidas en las semana 9 y 10, debido a la falta de personal para efectuar los aforos.



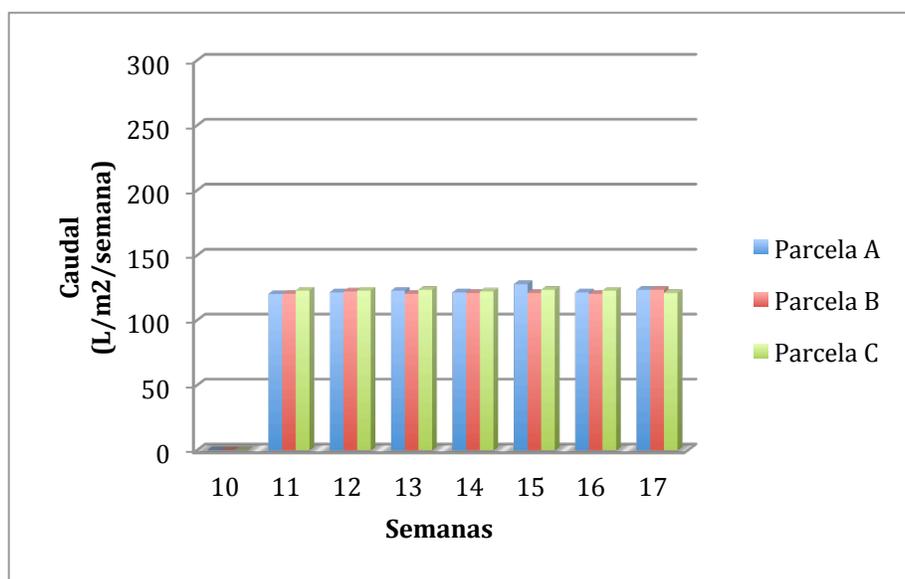


Figura N°30. Cantidad de Caudal regado de la semana 1 - 17

Se observa valores mayores de caudal durante las dos primeras semanas de riego en la parcela C, en comparación a las parcelas A y B, esto se debió a los diferentes volúmenes de almacenamiento, las parcelas A y B cuentan con tanques de 250L, y por el contrario la parcela C, cuenta con un tanque de 1000L. El volumen de agua se fue graduando sobre la marcha por tal razón se presentaron estas notorias diferencias.

A partir de la semana 3 se comienzan a presentar valores similares de caudal entre las tres parcelas con datos promedios entre 153 y 157 (L/m²/semana). Entre la semana 3 y 7, los caudales presentan una reducción de aproximadamente 30 (L/m²/semana). A partir de la semana 11 las parcelas registraron caudales de riego promedio entre 120 y 122(L/m²/semana).

En la figura 2, se presentan los datos del consumo total de agua para riego durante las 17 semanas de proyecto. Se observa que la parcela C, presenta el mayor consumo de agua con un total de 2,13 m³, seguido por la parcela A, con 1,98 m³, por ultimo se presenta el menor consumo por parte de la parcela B, con 1,95 m³.

De acuerdo a los anteriores datos totales se tiene un consumo promedio mensual para las tres parcelas de 475L/mes. Comparando con el consumo promedio de un habitante en Lima Metropolitana de 150L/hab/día [31]. Siendo equivalente a un consumo promedio mensual de 4500 L/mes, aproximadamente el 70% de esta agua se convierte en agua residual domestica, resultando aproximadamente unos 3150 L/mes. Este valor se encuentra 6,63 veces por encima del consumo promedio mensual de riego en el banco de propagación.

El riego en los bancos de propagación de Bambú – Guadua, es uno de los factores determinantes para desarrollar óptimos crecimientos, las plántulas han presentado excelente desarrollo cuando se aplica como mínimo 10 mm de agua al día.[22]. El riego promedio semanal en las parcelas A, B y C, presentaron valores desde 18,87 L/m²/día, 18,61 L/m²/día y 20,31 L/m²/día, respectivamente.

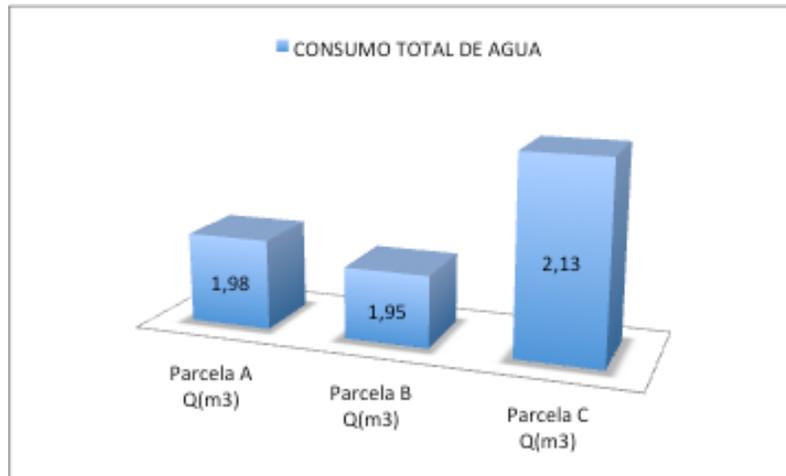


Figura N°31. Cantidad de Caudal regado de la semana 1 - 17

6.3 Análisis de la calidad de agua

Los datos obtenidos en el proyecto se analizaron durante 17 semanas en el laboratorio de agua de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los resultados completos se presentan en el Anexo B. A continuación se presenta la tabla N°10, en donde se reúnen los valores medios, promedios y máximos de cada parcela para cada parámetro, debido a que las diferencias entre los valores no son muy grandes se presenta la desviación estándar de los datos medidos en laboratorio. Los datos que presentaron una mayor dispersión se encontraron en el parámetro de turbidez para la parcela B y C, teniendo una desviación estándar de 3,07, en el caso de la parcela A, la desviación estándar para este parámetro fue de 0,93. Los otros parámetros presentaron desviaciones entre 0,11 hasta 0,70.

El tipo de agua varía para cada una de las parcelas, desde agua directamente captada del canal de distribución de la universidad, para la parcela B, agua recolectada en el reservorio de la universidad, para la parcela C y la parcela A, recibe el agua del reservorio pasada por una celda de humedal construido de flujo horizontal.

Tabla N°10. Valores Bajo, promedio y Alto de los parámetros de calidad de agua

PARAMETRO	PARCELA A			PARCELA B			PARCELA C					
	Desviación	BAJO	PROM	ALTO	Desviación	BAJO	PROM	ALTO	Desviación	BAJO	PROM	ALTO
pH	0,38	6,85	7,31	8,15	0,58	7,66	8,83	9,50	0,70	7,52	8,34	9,77
C.E (S/m)	0,11	0,56	0,65	0,97	0,05	0,40	0,54	0,59	0,04	0,46	0,52	0,60
Nitrato (mg/L)	0,18	0,30	0,68	0,90	0,29	0,30	0,81	1,40	0,18	0,60	0,85	1,20
Turbidez NTU	0,93	0,34	1,38	3,56	3,07	2,07	4,84	12,90	3,07	1,49	7,91	22,10

pH

En la figura 32, se observa que las parcelas B y C, presentan valores mínimos por encima de 7 considerándose agua ligeramente alcalina y valores máximos que están por encima de 9, siendo agua fuertemente alcalina. La parcela A, presentó durante todo el proyecto los valores más bajos de pH, teniendo un valor mínimo de 6,85 hasta un valor máximo de 8,15, lo que significa un agua ligeramente alcalina, esto puede ser debido a la presencia del humedal.

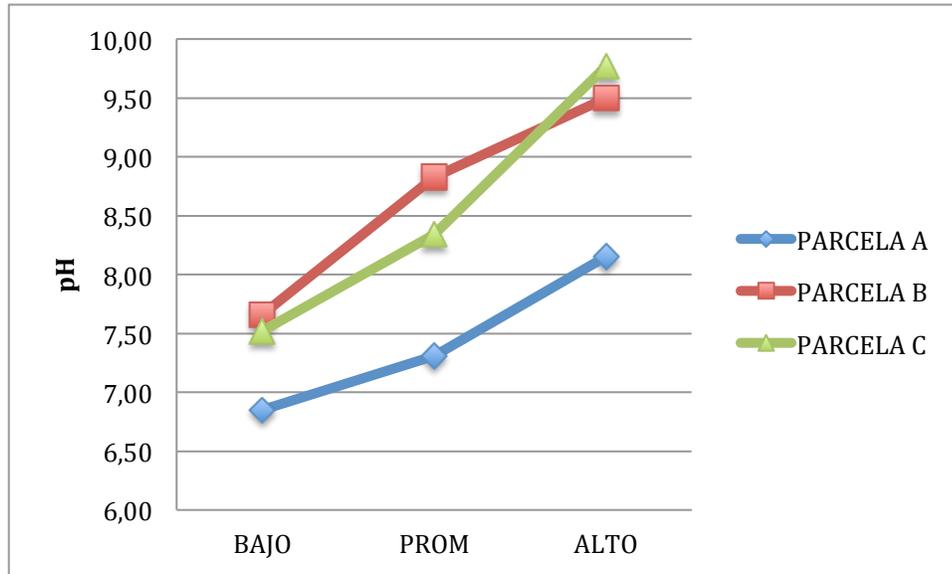


Figura N°32. Comparación de valores de pH, en cada parcela

Nitratos

En la figura N°33, se observa que el agua de riego que presentó un mayor aumento de nitratos fue la parcela B, registrando un ascenso de 1,10mg/L, desde el valor mínimo al valor máximo. La parcela C, presentó un crecimiento de 0,60mg/L, durante todo el proyecto y por último la parcela A, presentó un aumento similar a la parcela C, con 0,60mg/L, desde su valor mínimo hasta su valor máximo.

La parcela C presentó un valor promedio de 0,85mg/L, siendo el valor más alto entre las tres parcelas, la parcela B presentó un valor promedio de 0,81mg/L y por último la parcela A, presentó un valor promedio de 0,68mg/L. Se observa que no existen grandes cambios entre los datos.

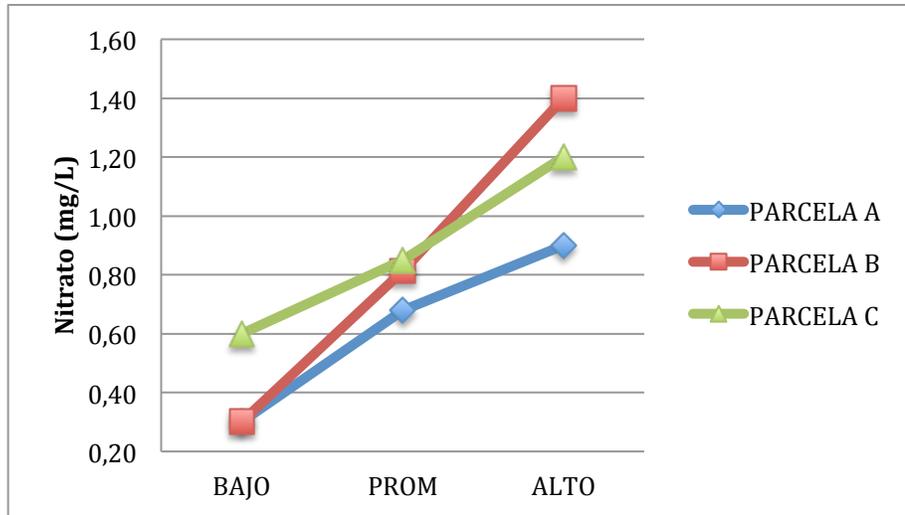


Figura N°33. Comparación entre valor mas bajo, valor promedio y valor mas alto de Nitratos, en cada parcela

Conductividad eléctrica

Los valores de conductividad eléctrica mas elevados se presentaron en la parcela A, con datos de 0,56 S/m a 0,97 S/m, presentando un riesgo medio de salinidad. Los datos de la parcela B se mantuvieron en un rango de 0,40 S/m – 0,59 S/m, tuvo un comportamiento similar durante todas las mediciones, el riesgo de salinidad es bajo. Los datos de la parcela C, tuvo un valor mínimo de 0,46mS hasta un valor máximo de 0,60 S/m, esta tipo de agua presenta un riesgo mínimo de salinidad.

El agua de riego para la parcela C y B, tuvieron valores mínimo y máximo similares, con riesgos mínimos de salinidad en el agua, por el contrario el agua de riego de la parcela A, presento los datos promedios mas elevados de conductividad eléctrica. Se debe tener en cuenta que no se presentaron grandes diferencias entre las parcelas. Los humedales construidos no incrementan significativamente los valores de conductividad.[34]

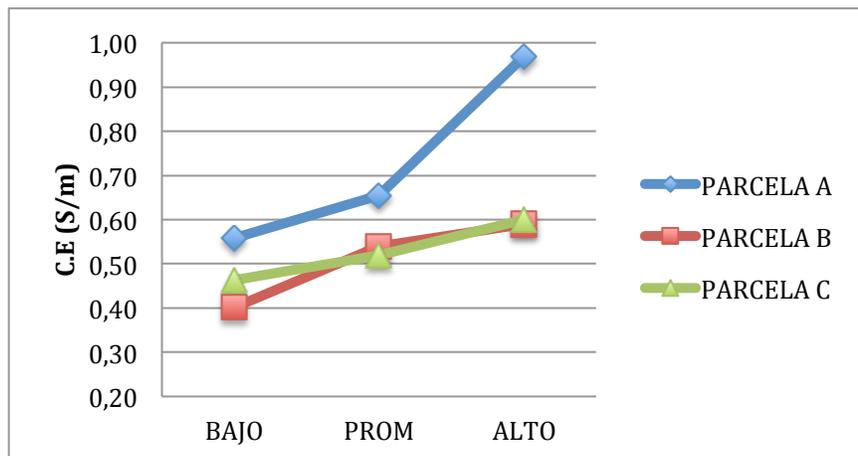


Figura N°34. Comparación valores de conductividad eléctrica, en cada parcela

Turbidez

Los datos de turbidez en el agua de riego de la parcela C, tienen un valor mínimo de 1,49NTU (Nephelometric Turbidity Unit) hasta un valor máximo de 22,10NTU, siendo esta tipología de agua la que presenta la mayor cantidad de solidos en suspensión. La parcela B, presenta un valor mínimo de 2,07NTU hasta un valore máximo de 12,90NTU, por ultimo la parcela A, presenta valores mínimos de 0,34NTU hasta un valor máximo de 3,56NTU, siendo este tipo de agua presenta los menores valores de turbidez.

La parcela A, presenta un valor promedio de 1,38NTU, la parcela B, tiene un valor promedio de 4,84NTU y la parcela C, cuenta con un valor promedio de 7,91. De acuerdo a los datos anteriores se observa que el agua de riego de la parcela A. Cuando se presentan una gran cantidad de solidos disueltos, se presentan aumentos de energía por parte de las plantas para traer el agua del suelo, por esta razón descensos progresivos en el crecimiento.[35]

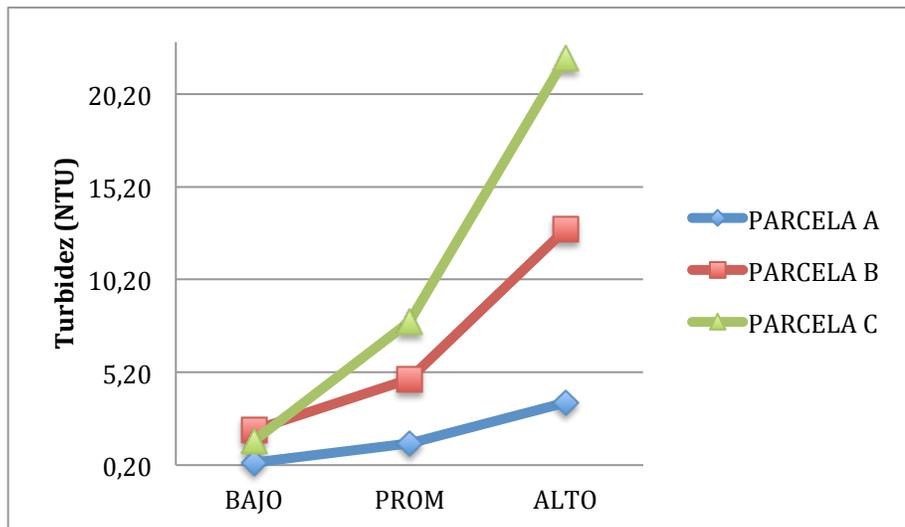


Figura N°35. Comparación valores de Turbidez, en cada parcela

DBO₅

El sistema de tratamiento de agua usada para la parcela A, es la celda de humedal construido de flujo subsuperficial horizontal. En la tabla N°11, se observan los valores de remoción de cargas de DBO₅, para el agua que se usa en la parcela C, que viene siendo el agua que entra en el sistema y para el agua usada en la parcela A, que es el efluente del sistema de tratamiento.

Se observa una remoción mínima de 68% presentada en la primera medición, después de 2 semanas de funcionamiento del humedal. Los valores de remoción desde la semana 3 hasta la semana 8 presenta un valor mínimo de 69% hasta un valor máximo de 77%. Después de la semana 11, los valores de remoción se sitúan por encima del 79%, como valor mínimo y como valor máximo 86%. Como se puede observarse la remoción de la DBO₅ va aumentando a medida que se estabiliza el humedal.

Tabla N°11. Porcentaje de remoción de DBO₅

HUMEDAL CONSTRUIDO			
Semana	DBO ₅ (mg/L)		Remoción (%)
	Entrada (Parcela C)	Salida (Parcela A)	
2	30,45	9,63	68%
3	28,32	7,81	72%
4	29,05	8,76	70%
5	31,05	7,2	77%
6	30,69	9,38	69%
7	30,88	6,49	79%
8	33,92	8,78	74%
9	-	-	-
10	-	-	-
11	32,87	7,05	79%
12	31,6	4,56	86%
13	30,16	6,16	80%
14	29,3	5,09	83%
15	33,92	6,78	80%
16	32,76	5,84	82%
17	31,56	4,76	85%

6.4 Análisis de suelo

La caracterización de los suelos de cada parcela se elaboró en la segunda semana del inicio del proyecto y quince semanas después. Los resultados completos se presentan en el Anexo C. Los resultados obtenidos en campo se compararan con datos de suelos que presentan fertilidades excepcionales, óptimos y debajo de óptimos para el establecimiento de Bambú – Guadua.

Teniendo en cuenta la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, se calcula la cantidad de nitrógeno presente y la cantidad de nitrógeno admisible por el suelo. Se aplica un factor de 0,005 a los valores de materia orgánica. El nitrógeno total obtenido bajo dicho procedimiento es en porcentaje y se debe llevar a contenido del suelo en kg/ha realmente aprovechable multiplicando por 2×10^6 , es de notar que el valor de nitrógeno total incluye contenido orgánico que no es disponible para la planta y una parte inorgánica usada por la planta. Este último corresponde aproximadamente al 5% del nitrógeno total.[32]. Debido a las pequeñas dimensiones del banco de propagación el valor de nitrógeno admisible se convierte a (g/m^2), unidades que se acoplan mucho mejor.

Tabla N°12. Nitrógeno total y admisible presente en el suelo

DETERMINACIÓN DEL NITROGENO TOTAL Y ADMISIBLE A BASE DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGANICO DEL SUELO						
ITEM	INICIO			FINAL		
	A	B	C	A	B	C
MATERIA ORGANICA (%)	2,34	1,52	1,52	3,92	5,25	4,73
NITROGENO TOTAL (%)	0,117	0,076	0,076	0,196	0,262	0,236
NITROGENO ADMISIBLE (g/m ²)	11,7	7,6	7,6	19,6	26,25	23,65

Los datos muestran un aumento en la cantidad de materia orgánica después de las 15 semanas de trabajo. Las parcelas B y C presentaron en las mediciones iniciales valores menores a la parcela A y similares entre ellas. Por lo tanto el valor de nitrógeno admisible en la parcela A es mayor en comparación a las parcelas B y C. En la medición final las parcelas B y C presentaron un aumento de más del 100% en los contenidos de materia orgánica, lo cual implica un incremento de nitrógeno total en estas parcelas.

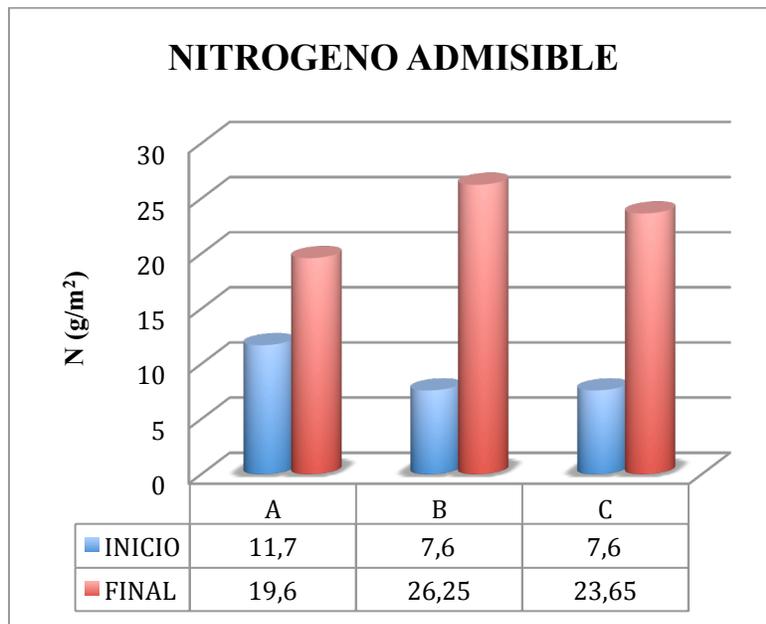


Figura N°36. Nitrógeno total y admisible presente en el suelo

Se puede observar en la figura N°36, el aumento representativo en la cantidad de nitrógeno admisible presente en las muestras de suelos. La medición inicial se realizó después de tener 10 días de riego y la siembra de las plantas ya realizada, pero sin haber efectuado ningún tipo de mejoramiento de suelo.

La parcela A en la medición inicial presenta una mayor cantidad de nitrógeno admisible con 11,7 g/m² en comparación a las otras muestras que presentaban aproximadamente la mitad del valor de la parcela A, con 7,6 g/m². Después de 15 semanas de trabajos y con un mejoramiento en la humedad del suelo por medio de Humus y Compostaje Natural se observa un aumento considerable en las muestras B y C, siendo mayores los datos finales en comparación con los datos de la parcela A.

Tabla N°13 Comparación de parámetros entre suelos óptimos y parcelas

COMPARACIÓN DE ANALISIS QUIMICO Y FISICO DE DIFERENTES SUELOS DONDE CRECE BAMBÚ - GUADUA													
Muestras	pH	C.E (dS/m)	M.O (%)	N (g/m ²)	P (ppm)	K (ppm)	Analisis Mecánico			Clase Textural	CIC (meq/100g)	RELACIÓN	
							Arena	Limo	Arcilla			Ca/Mg	K/Mg
							%	%	%				
EXCEPCIONAL	6,4	0,11	3,98	19	52,1	391,5	59,7	17,6	22,7	Fr	12,7	2,83	0,4
OPTIMA	5,8	0,12	7,32	37	15,4	156,4	57,4	18,8	23,8	Fr	12,17	2,86	0,44
INFERIOR	4,5	0,08	5,2	26	5,8	14,5	72,4	22,72	4,88	M.A	1,5	2,13	0,09
INICIO A	7,5	2,97	2,34	11,7	20,7	256	55	31	14	Fr.A	16	11,73	0,48
INICIO B	7,6	3,12	1,52	7,6	15,4	209	55	31	14	Fr.A	12,94	12,03	0,44
INICIO C	7,5	3,84	1,52	7,6	23,9	301	53	31	14	Fr.A	14,88	12,21	0,52
FINAL A	7,4	1,29	3,92	19,6	22,3	437	50	40	10	Fr	18,24	4,98	0,070
FINAL B	7,4	2,21	5,25	26,25	27,6	642	56	32	12	Fr.A	21,92	4,35	0,075
FINAL C	7,7	1,51	4,73	23,65	24,4	465	54	34	12	Fr.A	21,44	4,69	0,073

Con el fin de observar el comportamiento de las parcelas demostrativas se realiza una comparación entre los datos obtenidos en campo versus datos de suelos de fertilidad excepcional, optima y debajo de optima, para el desarrollo de bancos de propagación y bosques comerciales de Bambú-Guadua. Los datos comparativos son suministrados por estudio elaborados por la empresa AGROMOD S.A DE C.V y citados en el libro “Bambú Guadua, Bosques Naturales en Colombia, Plantaciones Comerciales en Mexico”[32], los cuales se han recogido en la tabla N°13

En primera medida se presenta un análisis de los parámetros físico químicos de las parcelas A,B y C al inicio y al final del proyecto, comparados con suelos de fertilidades excepcional, optima e inferior, en la figura 6 se ilustra los parámetros de Ca/Mg, pH y porcentaje de materia orgánica.

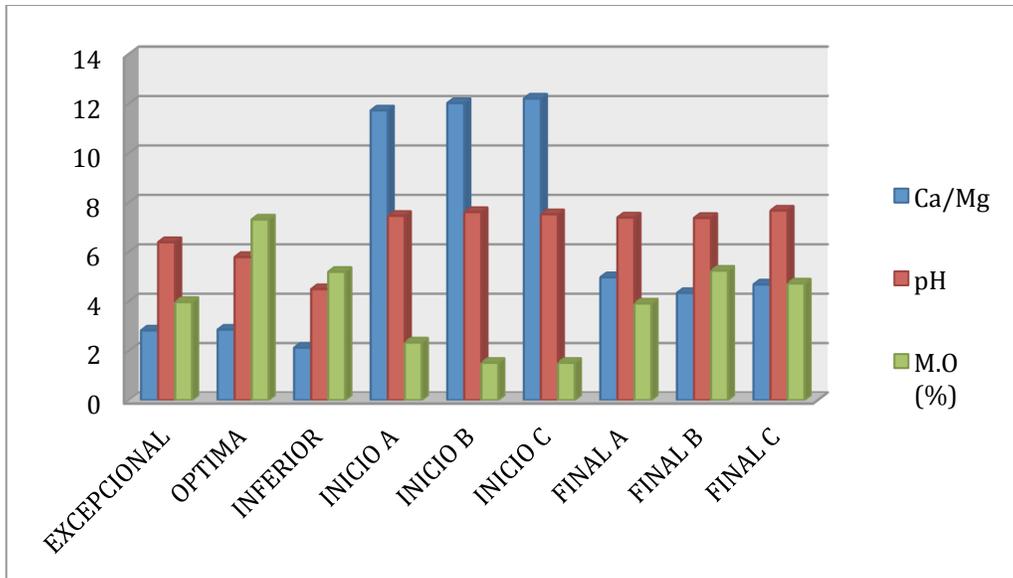


Figura N°37. Valores de Ca/Mg, pH y porcentaje de M.O en diferentes suelos

Se observa en la figura N°37, como los datos de Ca/Mg presentan valores elevados de 11,73 para la parcela A, 12,03 para la parcela B y 12,21 para la parcela C, en las mediciones iniciales estando muy alejados de los valores de los sustratos excepcional y optimo, los cuales están en valores entre 2,13 y 2,83. En las mediciones finales, los valores decrecen sustancialmente estando entre 4,35 hasta 4,98, la parcela que presentó los menores valores en la medición final fue la B, la parcela C, disminuyó hasta 4,69 y la parcela A, fue el valor más elevado teniendo 4,98. Los altos valores en esta relación significan una deficiencia en Mg en comparación a la presencia del Ca en el suelo. El magnesio es parte importante en compuestos presentes en la planta como la clorofila y tiende a actuar como activador enzimático. Hace parte de los micronutrientes que absorbe la planta en menor cantidad pero que son indispensables en los procesos vitales de la planta. Actúan como catalizadores en muchas reacciones bioquímicas. [33].

Los valores de pH de los sustratos fértiles muestran suelos ligeramente ácidos y el sustrato con fertilidad baja o muy baja muestra un suelo fuertemente ácido, en donde las plantaciones presentan desarrollos pobres. Los resultados obtenidos en el trabajo presentan valores entre 7.1 – 7.8 similares al inicio y al final del experimento y los suelos son ligeramente alcalinos. A medida que la acidez disminuye se incrementa la disponibilidad de Ca, Mg K.[36]

La cantidad de materia orgánica en las mediciones iniciales de cada parcela es muy baja, presentando valores menores a 2,5%. Antes de realizar el mejoramiento de humedad del suelo por medio Humus y Compostaje Natural. Las mediciones finales de cada parcela muestran una mejoría, doblando su valor, acercándose a los valores de fertilidad excepcional y optima, los cuales registran porcentajes de 3,98% y 7,32% respectivamente. La parcela que presenta el mayor porcentaje de materia orgánica es la B, con 5,25%, la parcela C, tiene 4,73% de materia orgánica y la parcela A, tiene 3,92%. Porcentajes altos de materia orgánica, disminuye la capacidad de compactación, disminuye el pH, aumenta la porosidad, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la actividad de microorganismos del suelo.[36]

A continuación se presenta la figura N°38, en donde se ilustra los valores de potasio (K) en las tres parcelas y en los sustratos con fertilidad excepcional, optima e inferior.

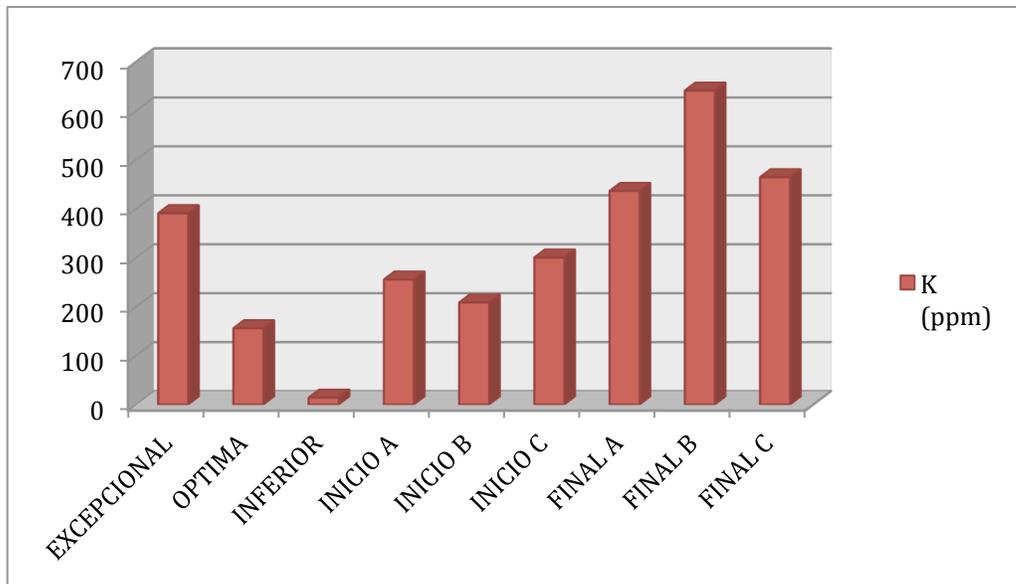


Figura N°38. Valores de K en diferentes suelos

Teniendo en cuenta el rango de valores de fertilidad optima y excepcional, entre 156 ppm, hasta 391,5 ppm respectivamente, las mediciones iniciales en las parcelas presentaron valores entre 209 ppm y 300 ppm, estando por encima de la fertilidad optima. La medición final presento un aumento considerable en las tres parcelas, con un valor mínimo de 437 ppm para la parcela A, un valor medio de 465 ppm para la parcela C y un valor máximo de 642 ppm para la parcela B. Los anteriores resultados muestran un exceso en el contenido de potasio en las mediciones finales. Este nutriente es importante para la síntesis de proteínas e hidratos de carbono, también influye en la firmeza del tallo. Cuando se presentan excesos se genera un bloqueo en la fijación de magnesio y calcio, reduciendo la calidad alimenticia de la planta[32].

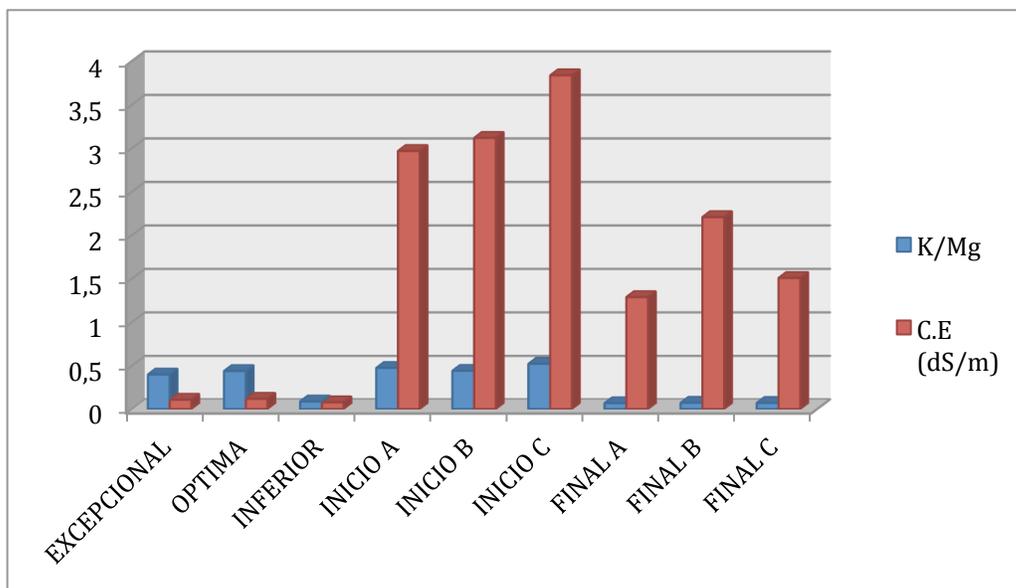


Figura N°39. Valores de la relación K/Mg y Conductividad Eléctrica en diferentes suelos

En la figura N°39, se ilustra los datos obtenidos en laboratorio de la relación K/Mg y de la conductividad eléctrica del suelo de las tres parcelas, además se presentan los datos de suelos de fertilidad excepcional, optima e inferior. La relación de K/Mg, presenta valores iniciales con una ligera ausencia de Mg, en las tres parcelas, teniendo valores cercanos a las fertilidad optima, de 0,44. En la medición final los valores descendieron a 0,073, estando cercanos a la fertilidad inferior de 0,09.

Conductividad eléctrica (dS/m): la medición inicial presento niveles elevados, en la parcela C con 3,84 (dS/m), ubicándose en el rango de moderadamente salino, el valor de menor conductividad eléctrica lo presento la parcela A con 2,97 (dS/m), estando en el rango de ligeramente salino. En la medición final las parcelas A y C presentaron un descenso en su valor 1,29 (dS/m) y 1,51 (dS/m), respectivamente, ubicándose en los rangos de muy ligeramente salinos. La parcela B tuvo un descenso mucho menor, manteniéndose en el rango de ligeramente salino, con un valor de 2,21(dS/m). Cuando los suelos se encuentran en rangos entre moderadamente salino y fuertemente salino, se presentan manchas blancas y el suelo no permite la infiltración del agua fácilmente.

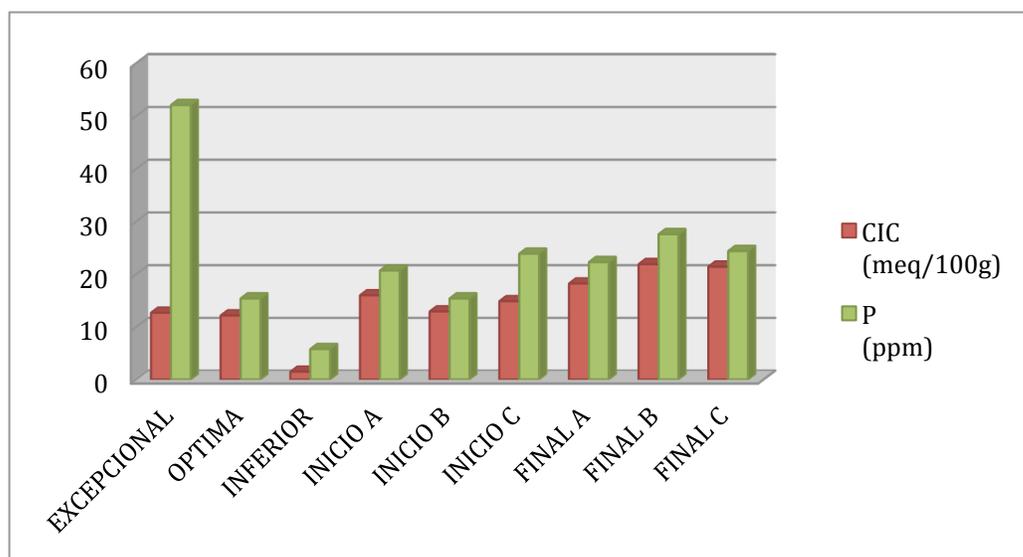


Figura N°40. Valores de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y fosforo (P) en diferentes suelos

En la figura N°40, se ilustran los valores de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y Fosforo (P), de acuerdo al parámetro (CIC), desde la medición inicial las parcelas mostraron valores adecuados para un funcionamiento excepcional el cual esta por encima de 10 (meq/100g). A mayores valores se presenta un mejor equilibrio y mas disponibilidad de nutrientes en el suelo, los valores de (CIC) son directamente proporcional a la fertilidad del suelo, debido a la disminución de nutrientes repercutiendo en la aplicación de fertilizantes[32].

Fosforo (ppm); los valores presentes en las tres parcelas desde la medición inicial, se encontraban dentro del rango de la fertilidad óptima, entre 15,4ppm hasta 23,9 ppm. Después de 15 semanas de proyecto, en las mediciones finales, los valores aumentaron en un rango muy pequeño, desde 22,3 ppm para la parcela A, 23,65 ppm para la parcela C y 23,65 ppm para la parcela B. Lo que implica un crecimiento despreciable. Este nutriente influye en la formación de semillas y raíces de las plantas, es un regulador de los ciclos vitales de las plantas.

6.5 Análisis foliar de plántulas

Los datos obtenidos en campo para cada una de las parcelas, son mostrados en su totalidad en el Anexo D. Se han comparado con datos de plántulas desarrolladas óptimamente en sustratos mejorados naturalmente, como lo es la cenichaza, la cual es una mezcla mecánica no homogénea de ceniza y componentes de los procesos industriales en la elaboración del azúcar. Los datos registrados de sustratos de Cenichaza y suelo fértil son recopilados de los análisis desarrollados por el Centro Nacional para el Estudio del Bambú - Guadua [30].

En la tabla N°13, en donde se comparan los diferentes parámetros foliares de plántulas sembradas en la parcela A, B, C, suelo fértil y cenichaza.

Tabla N°13 Comparación de. Análisis foliar en las plántulas de Bambú-Guadua

COMPARACIÓN DE ANALISIS FOLIAR DE BAMBÚ-GUADUA EN DIFERENTES SUSTRATOS											
Muestras	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Na %	Zn ppm	Cu ppm	Mn ppm	Fe ppm	B ppm
Cenichaza	1,25	0,05	3,96	0,5	0,6	0,09	99,4	12,7	38,5	391	25
Suelo	1,55	0,55	3,67	0,56	0,36	0,23	136,9	18	102,5	481	34
Parcela A	3,02	0,14	1,44	0,93	0,23	0,05	25	20	115	237	25
Parcela B	3,16	0,18	1,5	0,79	0,23	0,04	29	19	111	323	20
Parcela C	2,69	0,14	1,31	0,83	0,2	0,04	23	19	103	233	24

En la figura N°41, se compara el porcentaje de nitrógeno (N) y potasio (K), presentes en las plantas sembradas en las parcelas A, B y C, versus sustratos mejorados, como lo son la cenichaza y el suelo optimo.

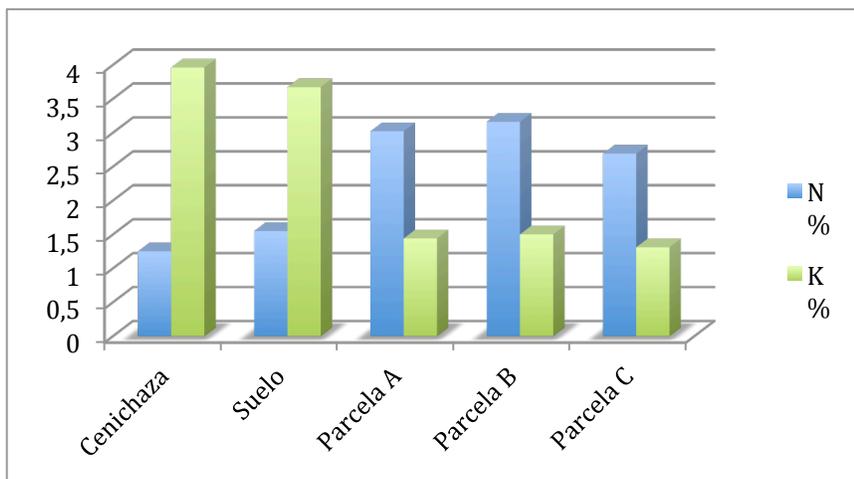


Figura N°41. Comparación de Nitrógeno (N) y potasio (K), en los diferentes sustratos

Las cantidades de nitrógeno (N) presentes en las plantas de las parcelas A, B y C son mucho mayores de lo que se presentan en las plantas en sustratos mejorados, con valores de 3,02%, 3,16% y 2,69%, respectivamente. La extracción de nitrógeno (N) es mayor en las plántulas en formación que en plantas adultas.[37]

Respecto al potasio (K), se observa una deficiencia en las plantas de las parcelas A, B y C, presentando valores entre 1,31% hasta 1,5% versus las plantas desarrolladas en los sustratos mejorados, las cuales muestran valores entre 3,67% hasta 3,97%. Se puede presentar acortamiento excesivos de los entrenudos.[33]. El potasio es el macronutriente que mas se consume por la plántula en su periodo vegetativo.[32]

A continuación se ilustra la figura N°42, la cual presenta los datos de calcio y magnesio presentes en las plantas sembradas en los sustratos mejorados y en las tres parcelas.

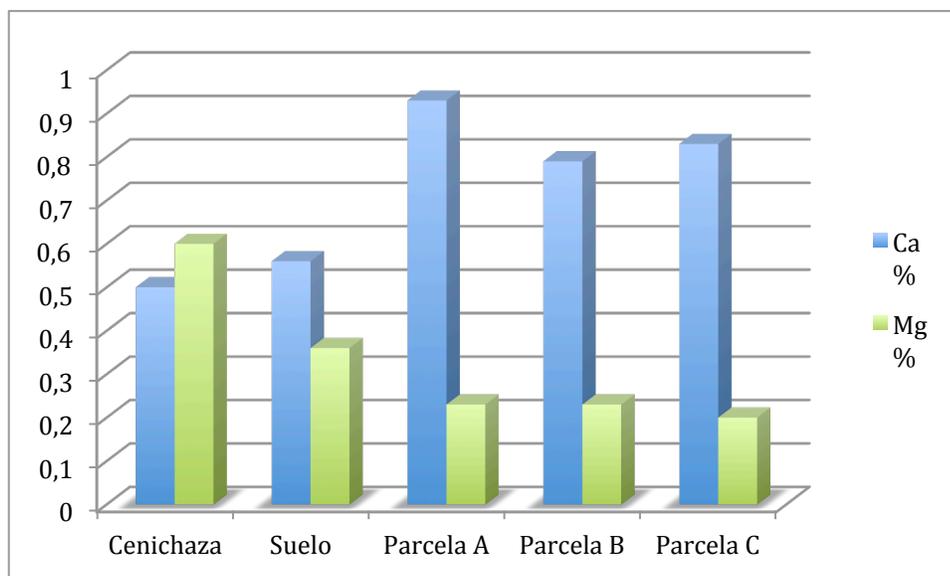


Figura N°42. Comparación de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), en los diferentes sustratos

Se puede observar altos contenidos de calcio (Ca) en las plántulas de las parcelas A, B y C, con valores entre 0,79% hasta 0,93, respecto a las plántulas sembradas en los sustratos mejorados, lo cual muestra una excelente extracción de este nutriente del suelo por las plántulas, este nutriente es parte fundamental en determinados compuestos, importante en la regulación del pH, fortalece las raíces y paredes de las células y regula la adsorción de nutrientes[32].

Respecto al magnesio (Mg) presente en las diferentes plántulas sembradas en las parcelas, se observa porcentajes similares en las tres de 0,23%. Comparando los datos de las plántulas sembradas en sustratos mejorados, con un valor mínimo de 0,36% para el suelo optimo y con un valor máximo de 0,6% para la Cenichaza. Un bajo porcentaje de Mg puede dar lugar a una baja formación de clorofila. [33]

A continuación se ilustra la figura N°43, la cual muestra datos de comparación de fosforo (P) presente en las diferentes plántulas sembradas en las parcelas y en los sustratos mejorados.

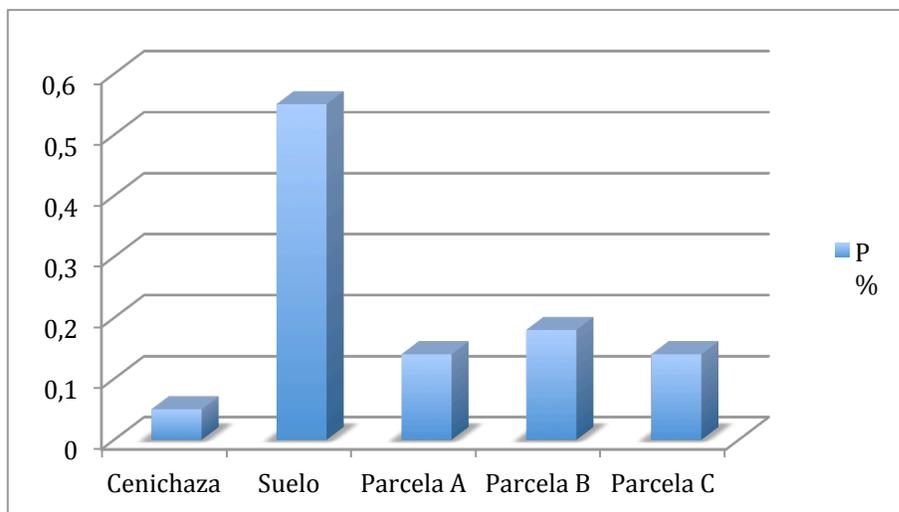


Figura N°43. Comparación de Fosforo (P) en los diferentes sustratos

Se puede observar que las plantas que tienen mayor cantidad de fósforo (P) están en la parcela B, con 0,18%, la parcela A y C, presentan valores similares de 0,14%. Respecto a los datos presentados por los sustratos mejorados, se observa la gran diferencia que tienen las plantas sembradas en el suelo mejorado con 0,55%, de fósforo, mas del doble de lo registrado en las parcelas. De acuerdo con las plantas sembradas en el sustrato de Cenichaza, la cantidad de fosforo es de 0,05%, dato que es despreciable por su cercanía a cero. La deficiencia de fosforo propicia plantas atrofiadas, malformación de raíces, bajos rendimientos y retrasos en la floración y madurez de la planta.[33]

6.6 Parámetros de crecimiento de plantas

Datos iniciales en longitud y diámetro

A continuación se presenta la tabla N°14, en donde se observa los valores iniciales de diámetro y longitud de cada una de las plantas sembradas en las parcelas. La totalidad de datos se encuentran en el Anexo E. Estos datos son importantes para calcular el incremento en crecimiento diametral y longitudinal de las plantas al final del proyecto.

Tabla N°14 Comparación de parámetros entre suelos óptimos y parcelas

MEDIDAS INICIALES DE DIAMETRO Y LONGITUD EN LAS PLANTAS																		
Parámetro	PARCELA A						PARCELA B						PARCELA C					
Planta	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p1	p2	p3	p4	p5	p6
Diámetro (mm)	1,9	2,9	2,4	2,3	5,3	1,8	2	2	1,8	1,9	3	2,8	2,8	2	2,9	5	2,9	2
Longitud (cm)	11	28	16	23	18	14	25	8	15	24	27	18	31	10	31	23	38	16

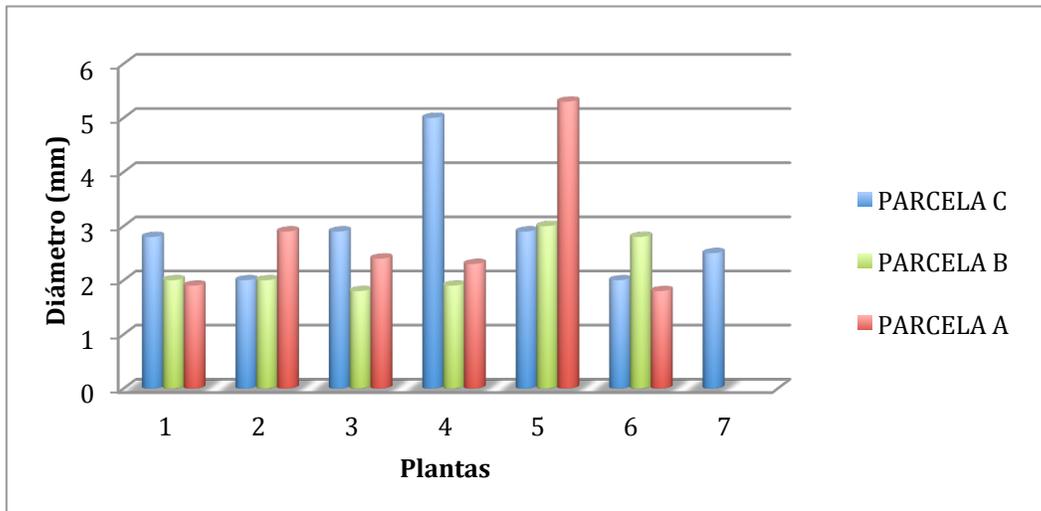


Figura N°44. Valores de diámetros iniciales de plantas sembradas en cada parcela

Se observa en la anterior figura N°44, que la parcela C, muestra los mayores diámetros iniciales con valores desde 2,5mm hasta 5mm, respecto a la parcela A y B. La parcela A, presenta la planta con mayor diámetro inicial de 5,3mm. En promedio las plantas sembradas en la parcela A, tuvieron diámetros entre 2 y 3mm. La parcela B presenta en promedio un diámetro de 2,25 mm con un valor mínimo de 1,8mm hasta un valor máximo de 3mm.

En la figura N° 45, se representan longitudes iniciales de siembra de las plántulas de cada parcela. Se observa en la parcela C, altas longitudes iniciales con valores de 31cm hasta 38cm. La parcela A, presenta una altura de 28 cm, en la planta 2, siendo la mayor longitud presente en esta parcela. Como valor mínimo se tiene 11cm en la planta 1. Las plantas de la parcela B presentan longitudes entre 25cm y 27,5cm.

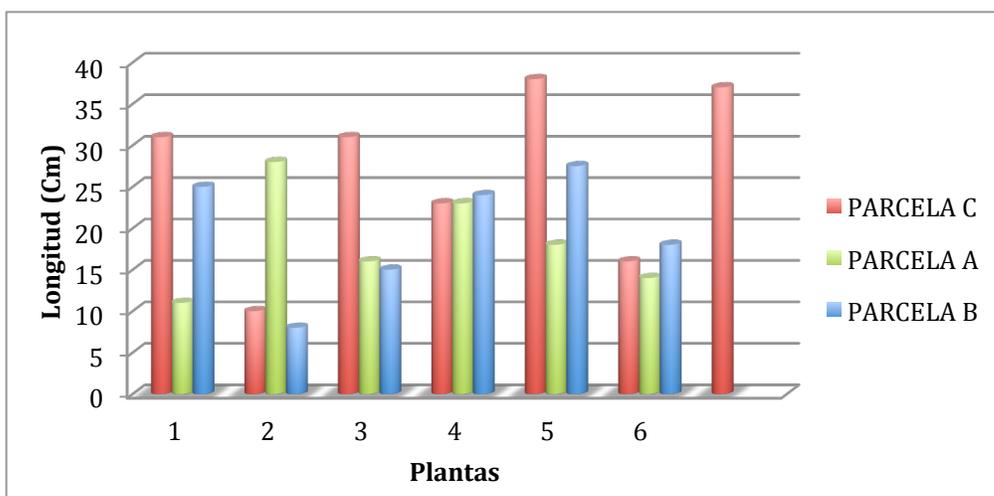


Figura N°45. Valores de longitudes iniciales de plantas sembradas en cada parcela

Incrementos diametrales y longitudinales

La figura N°46, presenta los incrementos totales de crecimiento longitudinal y diametral, de las plantas sembradas en cada una de las parcelas. Los valores se especifican en porcentaje con el fin de observar el incremento presentado por las plántulas durante las 17 semanas de proyecto. Los resultados obtenidos parten de los diámetros y longitudes iniciales registrados en la tabla N°14.

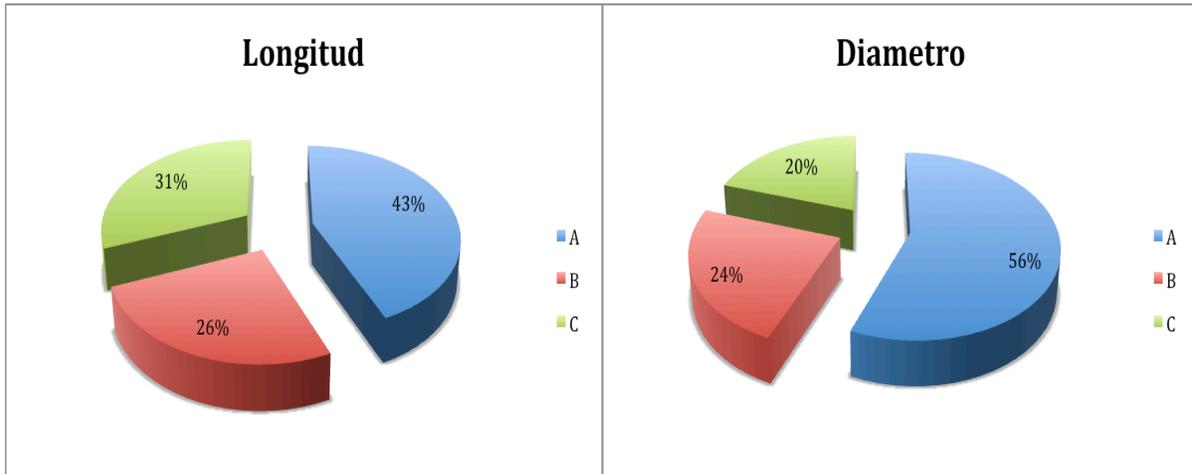


Figura 46. Incrementos totales de crecimiento longitudinal y diametral en cada parcela

De acuerdo a la figura anterior se observa en la parcela A un incremento longitudinal y diametral del 43% y el 56% respectivamente, estos desarrollos son los más altos en las tres parcelas, lo que significa que en promedio todas las plantas sembradas en la parcela A, tuvieron un crecimiento más elevado que las plantas de las otras parcelas. La parcela B, presenta un incremento longitudinal de 26%, presentando el comportamiento más bajo entre las tres parcelas, respecto al diámetro se presenta un incremento del 24%, presentando un mejor rendimiento que la parcela C.

La parcela C, en donde se presentaron las plantas con las mayores alturas y diámetros finales, mostro un incremento longitudinal en sus plantas de 31%, estando por debajo del rendimiento de la parcela A. El incremento diametral presentado en las plantas de la parcela C, alcanzo un 20%, siendo la parcela con el menor rendimiento de las tres.

En resumen las plántulas de la parcela A, presentaron el mejor rendimiento longitudinal y diametral, versus las parcelas B y C. El comportamiento más bajo de acuerdo al incremento diametral se dio en las plántulas sembradas en la parcela C, longitudinalmente la parcela B presento el menor incremento.

Número de rebrotes

A continuación se presenta datos correspondientes al número de rebrotes presentes en las parcelas A, B y C, este es el parámetro de reproducción más importante en el rendimiento de un banco de propagación de Bambú – Guadua. La aparición de rebrotes en las plantaciones garantiza la supervivencia de las plantas. Los banco de propagación con mejores comportamientos de reproducción presentan rebrotes a partir de la cuarta semana.

La figura N°47, ilustra los numero de rebrotes presentes en cada parcela durante las 17 semanas de proyecto, las revisiones visuales se efectuaron cada dos semanas, tiempo promedio donde se pueden presentar cambios representativos en la reproducción de una planta.

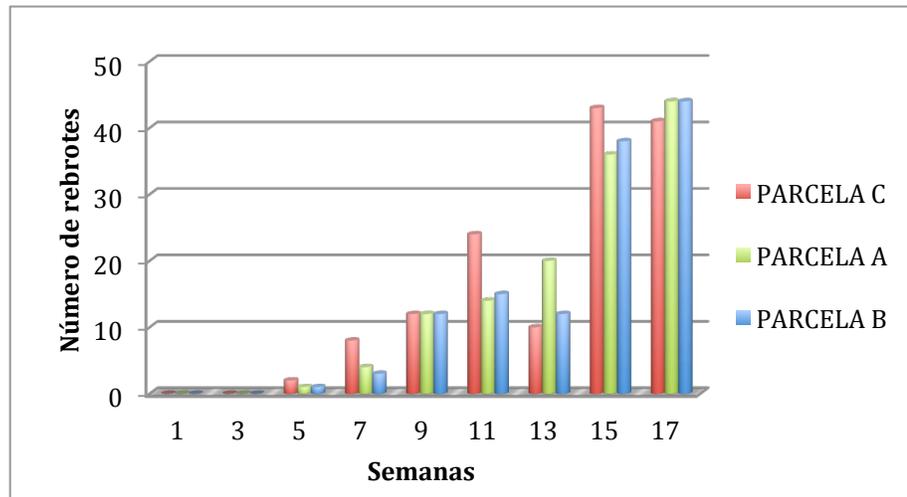


Figura N°47. Valores de número de rebrotes por plantas sembradas

La generación de rebrotes apareció a la quinta semana en las tres parcela, en donde la parcela A y B presentaron un 1 rebrote y la parcela C presento 2 rebrotes. En la siguiente medición, semana 7, la parcela C aumenta su producción de rebrotes cuadruplicando su valor, presentando 8 rebrotes, siendo el mejor comportamiento versus la parcela A y B. En la semana 9 se presentan valores similares en las tres parcelas, generando 9 rebrotes por parcela, en las siguiente medición, semana 11, la parcela C vuelve a tener un rendimiento mayor en comparación con las parcelas A y B, presentando 24 rebrotes.

La producción de rebrotes después de 13 semanas de continuo crecimiento en la cantidad de rebrotes generados sufre una caída de mas del doble en la parcela C, con 10 rebrotes, y la parcela B disminuyo a 12 rebrotes. Por el contrario la parcela A, siguió su comportamiento ascendente y presento 20 rebrotes. En las dos ultimas mediciones se presentó como máximo valor 44 rebrotes para la parcela A y B y 41 rebrotes para la parcela C.

En total la parcela A que contaba con 6 plántulas al inicio logro reproducir 131 rebrotes en 17 semanas, la parcela B con la misma cantidad de plántulas sembradas genero 125 rebrotes en el transcurso del proyecto y por ultimo la parcela C presento 140 rebrotes en 7 plántulas sembradas.

7 Conclusiones

- El agua proveniente del río Rímac con distintos tratamientos posibilitó el riego para la generación de plantaciones de Bambú – Guadua, presentando desarrollos aceptables en comparación a plantaciones generadas en zonas con factores climatológicos óptimos.
- Los porcentajes de remoción de DBO_5 obtenidos en el humedal son óptimos, teniendo valores entre 68% y 86% de remoción, estos resultados se dieron gracias al reúso del sustrato de grava y plantas fitodepuradoras existente en los humedales colmatados. Lo cual redujo el tiempo de adaptabilidad del humedal a dos semanas.
- El análisis de las condiciones climatológicas y topográficas de la zona del proyecto, dio como resultado escoger como sistema adecuado el riego por goteo.
- Para un funcionamiento adecuado del sistema de riego por goteo, se observó que niveles elevados de turbidez en las parcelas B y C, produjeron obstrucciones en los orificios de salida de las cintas de riego, teniendo que aumentar el número de veces de mantenimiento en comparación con el sistema de riego de la parcela A, el cual provenía del humedal.
- El consumo total de agua de riego en las tres parcelas presentó valores desde 18,87 $\text{L/m}^2/\text{día}$ en la parcela A, 18,61 $\text{L/m}^2/\text{día}$ en la parcela B y 20,31 $\text{L/m}^2/\text{día}$ para la parcela C, superando el valor mínimo de riego de 10 $\text{L/m}^2/\text{día}$ de agua aplicada a bancos de propagación situados en zonas con excelentes parámetros climatológicos, los cuales presentaron excelentes desarrollos de crecimiento.
- La observación de las plantaciones junto con el análisis químico del suelo ha permitido relacionar el aumento de la conductividad del suelo con la aparición de unas manchas blancas que lo impermeabilizaban y no dejaban penetrar el agua de riego. Al final del trabajo se observó una disminución de la conductividad eléctrica del suelo.
- El análisis foliar de las plántulas después de 17 semanas de medida presentan valores de los principales componentes mayoritarios N, P, K, Ca, Mg y Na, muy similares entre las diferentes parcelas, no habiendo pues diferencias significativas entre parcelas en este aspecto.
- El análisis foliar presentó valores de concentraciones de nitrógeno que son el doble de aquellas plántulas sembradas en sustratos óptimos, este factor puede ser positivo debido a la importancia de este macronutriente en su fase vegetativa. Sin embargo para el potasio presentó concentraciones inferiores a la mitad de las concentraciones óptimas, lo que implica que puede presentar un acortamiento en los entrenudos.
- El análisis de los parámetros de crecimiento, longitudinal y diametral de las plántulas muestran que el porcentaje de crecimiento fue mayor en la parcela A seguido de la B y de la C. En este punto habría que considerar que el tamaño de las plántulas inicialmente eran menores en el orden mencionado, sin embargo todas ellas estaban en un mismo estadio de crecimiento.
- El número de rebrotes en las plántulas de las diferentes parcelas muestra que en la parcela A hubo 131 rebrotes, en la B 127 y en la C 140. a pesar de que en la B es inferior, hay una

plántula menos debido a que murió y en la C se presenta una planta mas que la A. Por tal razón la parcela A presento el mejor comportamiento de reproducción.

- El incremento diametral y longitudinal presento los mejores valores en la parcela A, aunque los datos iniciales en longitud y diámetro tienen variaciones entre las parcelas, se tiene en cuenta que todas las plantas sembradas se encuentran en su fase vegetativa.
- A través del trabajo realizado se ha demostrado la importancia ambiental y económica que conlleva la propagación y aprovechamiento del Bambú-Guadua, en zonas áridas donde se presentan situaciones climáticas extremas y mayor concentración de población. La introducción de estas plantaciones en la universidad impulso nuevos trabajos de investigación por parte de los estudiantes de la facultad de ingeniería forestal a cargo del profesor Héctor Enrique González Mora, los cuales aprovecharán las plántulas desarrolladas en el banco de propagación para establecer un bosque piloto en los campos de la Universidad, evaluando su crecimiento y adaptabilidad al medio.
- Finalmente las tareas de difusión realizadas han servido para divulgar y estimular el uso de Bambú – Guadua en la zona como elemento constructivo y sostenible.

8 Comentarios y sugerencias

- El uso del agua en zonas áridas es de vital importancia para desarrollar plantaciones de todo tipo, por tal razón se observó que una necesidad clara que se presentaba en la zona de La Molina, era usar de manera eficiente los recursos hídricos existentes e implementar técnicas que dieran paso al uso de nuevas fuentes hídricas como lo son las aguas regeneradas. Partiendo de esta premisa el proyecto en un principio se planteó el uso directo de aguas residuales domésticas que pasaban por las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina, lamentablemente las obras civiles de conexión de esta agua nunca se desarrollaron por parte de la universidad. Por tal razón se sugiere dar continuidad al proyecto usando aguas residuales domésticas en el momento que se cuente con los canales de conducción.
- El consumo total de agua de riego promedio mensual en las parcelas es de 475 L/mes. Si comparamos la producción de agua residual doméstica en Lima metropolitana que es de 3150 L/hab/mes, implica que las aguas residuales podrían ser una fuente hídrica importante para uso en el riego de plantaciones de Bambú – Guadua.
- Se observó una dependencia total del agua proveniente de los sistemas de distribución del río Rímac, los cuales son vulnerables a contaminación y disminución de caudal, por tal razón se sugiere el desarrollo de trabajos similares al proyecto desarrollado actualmente, el cual demostró la importancia de buscar alternativas de fuentes de agua para riego, teniendo en cuenta la demanda y la oferta existente en la zona, con el fin de establecer parcelas de riego acordes a los recursos existentes, para no incurrir en sobre costos de implantación de parcelas agrícolas o forestales sobre dimensionadas.
- El desarrollar plantaciones en épocas invernales ayuda a mejorar la adaptabilidad de la planta, en el caso del distrito de La Molina, esta época invernal se caracteriza por menos horas de sol directas y una mayor cantidad de nubosidad, la presencia de lluvias es nula. En caso de estas zonas áridas el principal aporte de estas temporadas es la reducción de mortandad de las plantas por el contacto directo del sol gracias a la presencia de nubes, esto conlleva a reducir la opacidad de las mallas de protección y realizar los riegos a diferentes horas lo cual ayuda a que los operarios estén presentes una mayor cantidad del tiempo.

9 Bibliografía

9.1 Referencias bibliograficas

1. PNUD. Informe sobre desarrollo Humano 2010, Edición del vigesimo aniversario. La verdadera riquezas de las naciones: caminos al desarrollo.2010.[Madrid].Ediciones Mundi – Prensa
2. Comisión Nacional de Cambio Climatico. Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climatico.[Perú].[Consejo Nacional de Ambiente, primera edición].2001.Capitulo I.2 Geografía y Clima.
3. Comisión Nacional de Cambio Climatico. Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climatico.[Perú].[Consejo Nacional de Ambiente, primera edición].2001.Capitulo I.4 Recursos Naturales.
4. Comisión Nacional de Cambio Climatico. Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climatico.[Perú].[Consejo Nacional de Ambiente, primera edición].2001.Capitulo I.5 Aspectos Generales de la Economía.
5. <http://www.scribd.com/doc/31125043/Primer-Diplomado-de-Bambu-en-Peru-Informe-Final>. Consultado (febrero 2013)
6. Gonzales, H. (2005). Elaboración de una propuesta para el aprovechamiento y la transformación del bambú en el ámbito del PRODAPP. Lima – Perú.
7. <http://www.peru-bambu.org/espanol/nosotros/competencia.htm>. Consultado (16 febrero 2013)
8. AECID. Programa de Educación en Ciencia y Tecnología del Agua para la Población Infante-Juvenil del Perú. Lima - Perú. 2010.
9. Cornejo A. (2000). PANEL SOBRE LA GESTIÓN DEL AGUA EN EL PERÚ. Conociendo los recursos hídricos en el Perú.
10. Autoridad Nacional del Agua. (2009). Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338. Primera edición. Lima Perú.
11. Del Lugo A. (2012). El riego forestal sostenible en zonas áridas y semiáridas. Revista internacional de silvicultura e industrias forestales *UNASYLVA*. 63. 63.
12. PROGRAMA NACIONAL DE VIGILANCIA DE LOS RECURSOS HIDRICOS. (2011). Evaluación de muestras de agua del río Rimac y principales afluentes con datos de Digesa y Sedepal – 11/12 de mayo 2011. Lima. Perú.

13. Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM. (2009). DISPOSICIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA. Perú
14. Sanchez J. (2007). Clasificación y uso de las aguas de riego. FERTUTECH S.A.
15. Calderon D. (2012). Tesis Doctoral “ Dinámica de microcontaminantes orgánicos en aguas de riego agrícola y su incorporación potencial en especies vegetales de interés agronómico”. Barcelona
16. FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso, una guía de bolsillo para los oficiales de extensión. Cuarta edición. Roma.
17. FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso, una guía de bolsillo para los oficiales de extensión. Cuarta edición. Roma.
18. <http://www.lenntech.es/turbidez.htm> . Consultado (25 marzo 2013)
19. GARCIA, J., CORZO, A. (2008). Depuración con Humedales Construidos. Capitulo 6, pag 61. Barcelona.
20. Tousignant E., Fankhauser O.(1999). GUIDANCE MANUAL FOR THE DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATIONS OF CONSTRUCTED WETLANDS FOR RURAL APPLICATIONS IN ONTARIO. Canada.
21. SENA. (2000). Curso Básico de Guadua, Modulo 3. Silvicultura. Colombia
22. CRUZ, H. (2009) Bambú Guadua. Bosques Naturales en Colombia, Plantaciones Comerciales en Mexico. Capitulo 26, COLMEX. Pereira - Colombia
23. CRUZ, H. (2009) Bambú Guadua. Bosques Naturales en Colombia, Plantaciones Comerciales en Mexico. Capitulo 25, COLMEX. Pereira – Colombia.
24. BROUWER, C. GOFFEAU, A. HEIBLOEM, M.. (1985). *Irrigation Water Management, Training manuals No1 – Introduction to Irrigation*. FAO Land and Water Development Division. (www.fao.org/docrep/r4082e/r4082e00.htm#Contents). Consultado (Marzo 2013)
25. SANCHEZ, J. ORTEGA OLLER, R. (2004). *El microrriego, una tecnica de restauración de la cubierta vegetal para ambientes semiaridos*. Actas de la III Reunión sobre Repoblaciones Forestales. España.
26. GUROVICH, L. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*. IICA. San José - Costa Rica.
27. GIRALDO, E y SABOGAL, A. (1999): *La Guadua una alternativa sostenible*, Colombia

28. CAMARGO, J. ARANGO, A. (2004). *Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetera de Colombia*. Recursos Naturales y Ambiente. 61: 86-94.
29. CRUZ, H. (2009) Bambú Guadua. Bosques Naturales en Colombia, Plantaciones Comerciales en Mexico. Capitulo 1, COLMEX. Pereira – Colombia.
30. LOPEZ, L. (2009). *La guadua como material estructural*. FUNDEGUADUA. Pereria – Colombia.
31. SEIFER, R. (2009). Análisis de la situación el agua (cantidad y residual) en Lima Metropolitana. Capitulo 7, Proyecto Liwa/Zirn-SEDEPAL. Lima – Perú.
32. CRUZ, H. (2009) Bambú Guadua. Bosques Naturales en Colombia, Plantaciones Comerciales en Mexico. Capitulo 33, COLMEX. Pereira – Colombia.
33. KOLMANS, E, VASQUEZ, D. (1999) Manual de Agricultura Ecológica, una introducción a los principios basicos y su aplicación. ACTAF. La Habana – Cuba
34. LAHORA,A. (1997). Depuración de Aguas Residuales Mediante Humedales Artificiales: La EDAR de los Gallardos (ALMERIA). Gestión de Aguas del Levante Almeriense S.A. Galas. Almeria. España.
35. PESCOD, M. (2004). *Wastewater treatment and use in agriculture – FAO irrigation and drainage paper 47*. Roma. Italia.
<http://www.fao.org/./docrep/T0551E/T0551E00.htm>
36. CRUZ, H. (2009) Bambú Guadua. Bosques Naturales en Colombia, Plantaciones Comerciales en Mexico. Capitulo 8, COLMEX. Pereira – Colombia.
37. CRUZ, H. (2009) Bambú Guadua. Bosques Naturales en Colombia, Plantaciones Comerciales en Mexico. Capitulo 32, COLMEX. Pereira – Colombia.

9.2 Bibliografía complementaria

- AGUIRRE, P. (2004). *Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater*. Wáter Research. 38. 1669 – 1678.
- GAUSS, M. (2008). *Constructed wetlands: A promising wastewater treatment system for small localities. Experiences from Latin America*. Wáter and sanation program (WSP). Perú.
- CHIARAWATCHAI, N. (2010). *Implementation of eartwarm – assisted constructed wetlands to treat wastewater and possibility of using alternative plants*

in constructed wetlands. Technischen Universität Hamburg – Harburg. Bangkok. Thailand.

- DELGADILLO, O. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro Agua). Cochabamba. Bolivia.
- MORENO, D, PEDROCCHI, C. (2007). *Creating wetlands for the improvement of wáter quality and landscape restoration in semi – arid zones degraded by intensive agricultural use*. Ecological Engineering. 30. 103 – 111. Huesca. Spain.
- GONZALEZ, H. (2008). *Resultados del ensayo del modulo de young y resistencia a la flexión de vigas laminadas de guadua angustifolia kunth*. Pereira. Colombia.
- GONZALEZ, H. (2008). *Comportamiento a la cizalladura de vigas encoladas laminadas de guadua angustifolia kunth*. Pereira. Colombia.
- GARZÓN, J. (1996). *Optimización De Estructuras En Guadua. TRABAJO ESTRUCTURAL EN UNIONES A TRACCIÓN*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- ESPINEL, L, CASTRO, F. (1993) *La guadua: Sus usos y su significado en la cultura regional (caso Quindío)*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- CASTAÑO, F. (1989). *Estudio de un régimen para el aprovechamiento sostenible de la guadua, CVC*. Universidad del Valle, Cali.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. *Manual De Construcción Sismo Resistente De Viviendas en Bahareque Encementado*. Fondo Para La Reconstrucción Y Desarrollo Social Del Eje Cafetero FOREC.
- LOPEZ, L, TRUJILLO, D. (2002). *Diseño de uniones y elementos en estructuras de guadua*. Pereira. Colombia.
- FORERO, E. (2003). *Uniones a tensión en guadua con mortero y varilla. Comportamiento de uniones con uso de expansivo en el mortero(Tesis de grado)*. Universidad nacional de Colombia. Bogotá.
- COBOS, J, LEON X. (2007). *Propiedades físicas mecánicas de la guadua angustifolia kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del IASA II*. Sangolquí. Ecuador.
- VILLEGAS, M. (2003). *Guadua Arquitectura y diseño*. Villegas Editores. Bogotá. Colombia .

- ORJUELA, R. (2006). *Respuesta de los Guaduales Naturales al manejo silvicultural tradicional*.
- HIDALGO, O (1974). *Bambú: Su cultivo y aplicaciones*. Ed. *Estudios Técnicos colombianos*. Cali. Colombia.