

FICHA TÉCNICA: PRODUCCIÓN INTENSIVA DE NOPAL FORRAJERO.

MOTIVACIÓN y JUSTIFICACIÓN.

El nopal puede representar una opción importante forrajera para las regiones semiáridas del país. La energía y el agua suministrada por este forraje han sido utilizadas por el ganado durante más de 3000 años y su cultivo contribuye en la seguridad alimentaria, reduce el hambre y la pobreza en las zonas semiáridas (Dubeux et al., 2021). La producción ganadera en las regiones áridas y semiáridas se enfrenta a los desafíos de: períodos prolongados de sequía, bajas e irregulares precipitaciones y altas temperaturas y baja fertilidad del suelo, lo cual limita la producción de forraje en cantidad y alta calidad para sustentar la ganadería. Por otra parte, bajo condiciones de riego, la alfalfa achicalada (*Medicago sativa*) es uno de los cultivos forrajeros más utilizados para la cría de ganado en nuestro país. No obstante, su baja eficiencia y alta demanda de agua de esta especie, hace que la alfalfa sea un cultivo antieconómico o insostenible para estas regiones, además de afectar la disponibilidad de agua subterránea al aplicarse láminas de riego, entre 200-240 cm, mediante el método convencional de irrigación, anualmente.

Por lo tanto, un sistema de producción forrajera alternativo sostenible, es mediante el cultivo de nopal forrajero tanto en zonas de temporal y bajo riego por goteo (superficial y subsuperficial). Lo anterior, bajo la premisa que es un cultivo de bajo requerimiento hídrico, tolerante a temperaturas extremas y alta tasa de crecimiento. Estas características lo convierten en un cultivo idóneo para zonas áridas y semiáridas, donde la agricultura depende en gran medida del agua disponible. Razón por la cual, el cultivo de nopal forrajero puede representar una alternativa de producción de forraje en pequeños espacios “aguas abajo”, a través de la utilización de reservorios de agua y norias existentes en las regiones áridas del país y mediante la implementación de innovaciones tecnológicas tales como el riego por goteo y la nutrificación, para proporcionar riegos suplementarios y nutrición a la planta, durante las diferentes etapas de crecimiento. Este procedimiento, incrementa la producción y calidad de forraje, y contribuye a reducir el problema de falta de forraje para la ganadería para pequeñas unidades de producción rural durante la época de estiaje.

Diversos estudios reportan que la producción de nopal bien irrigado y fertilizado varía entre 400 a 500 t ha⁻¹ año⁻¹ de biomasa fresca (40 a 50 t ha⁻¹ año⁻¹ de materia seca) con una densidad de 24000 plantas ha⁻¹, valor superior a los rendimientos de biomasa obtenidos con maíz o sorgo, mientras que la productividad sin riego es de 9-15 y de 3 a 15 t ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente.

Es importante reiterar, que el nopal es un cultivo altamente eficiente en el uso de agua, Fisher y Tuner (1978) señalan que las plantas C₃ (avena), C₄ (maíz) y CAM (nopál) requieren 617, 300 y 50 lt de agua kg⁻¹ de materia seca (MS), respectivamente. Rocha et al. (2017) reporta un índice de productividad del agua (IPA) de 160.59 y 96.47 kg de MS mm⁻¹ de agua para las especies *Opuntia stricta* (Haw) variedad Oreja de Elefante Mexicana y *Opuntia ficus indica* (Mill).

La alternativa de producción intensiva de nopal forrajero, incluye actividades en un ámbito que incluye a los estados y municipios que se encuentran dentro de la jurisdicción territorial de la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA), que se enfrentan a afectaciones por sequía, tipificadas como: severa (D₂) extraordinaria (D₃) y excepcional (D₄), en municipios de alta y muy alta marginación y con poblaciones ganaderas de bovinos, ovinos y caprinos. La población beneficiada llevará a cabo las actividades necesarias para establecer un banco de forraje, lo cual implica: adquisición de plántula de nopal proveniente de semilla o cladodios de variedades con potencial forrajero; preparación del terreno; fertilización de fondo; acolchado plástico; el establecimiento de la plantación y manejo agronómico del cultivo

Algunas consideraciones generales y técnicas agronómicas para la producción de nopal forrajero.

Selección del sitio de plantación.

Preferentemente la localización del sitio de plantación es a una altitud entre los 500-2400 m. Preferentemente debe tener características, apto de mecanización. Estar accesible y cercano a una fuente de agua. Esto, además de facilitar el manejo del cultivo, coadyuva a que la aplicación del agua de riego en cantidad, frecuencia y precisión sea más eficiente. El suelo preferentemente debe un nivel de fertilidad aceptable para suministrarle nutrimentos a la planta de nopal par su crecimiento. Características físicas (textura y estructura) que favorezcan el almacenamiento de agua y aireación para un aceptable desarrollo radical. Una profundidad aproximada entre 15-30 cm. Si el terreno presenta cierta pendiente, éste es preferible que tengan exposición hacia el oriente o hacia el sur. Con estas características, el nopal tendría de 2 a 3 grados favorables de calor comparándolas con otras exposiciones

Preparación del suelo.

En caso de terreno que se introducirá por primera vez a plantación se hará primeramente una limpieza, un sub-soleo no mayor a los 50 cm. Posteriormente, se llevará a cabo un barbecho, o paso del multiarado a 25-30 cm de profundidad, un rastreo y una nivelación pasando una cuchilla niveladora. Esto último, evitaría problemas en la distribución del agua dentro de las camas si el riego se realiza convencionalmente. En superficies pequeñas estas labores pueden realizarse manualmente o con tracción animal. En el caso del riego por goteo no resulta imprescindible, sobre todo si se utilizan **goteros autocompensables**.

Después de la preparación se recomienda asurcar el área donde se va plantar, a un intervalo de 85 – 90 cm., posteriormente se localiza el área donde se va a plantar, considerando tres surcos libres y área de plantación otros tres surcos. Sobre el área de plantación se colocará la fertilización de fondo que posteriormente se describe. De esa forma, quedan diferenciadas el área de plantación, del corredor de manejo de la planta y cosecha.

Material vegetativo.

Las especies de nopal posibles a establecer serían la variedad Esmeralda Chicomostoc (género *Ficus indica*), Copena (*Opuntia ficus-indicus*), y Azul Gigante (genero de

Opuntia robusta) resistente a frío (-11 C°). Dado que son variedades sin espina es necesario del cerco perimetral.

Selección y adquisición de pencas madre

Para el establecimiento, se seleccionarán plántulas o seleccionar pencas de buen vigor nutrimentalmente, libres de plagas y enfermedades, sin malformaciones físicas, tener una edad entre seis y doce meses, un tamaño mínimo 30 cm de largo y 20 cm de ancho, cladodios de buen grosor y succulencia, los cladodios deben presentar el corte en la parte de unión con la planta madre. Una vez cortadas se dejan a cielo abierto o a media sombra entre ocho a y quince días para que las heridas cicatricen del corte y se deshidraten. Las pencas se colocan con la herida del corte hacia arriba con el fin de acelerar la cicatrización, como se aprecia en la siguiente imagen. Asimismo, esto facilita el manejo de las pencas, pero además aumenta su resistencia a los daños mecánicos durante el traslado al sitio de plantación.



Trazo y procedimiento de plantación.

El trazo de las camas de cultivo donde se plantará el nopal, se realizará colocando estacas en los extremos del terreno marcando los espacios de las camas. El ancho de las camas será de 1.8 metros, con una longitud no mayor a 100 metros, para facilitar el manejo del sistema de riego. Se tendrán cuatro hileras de nopal. Distantes 30 centímetros de separación entre plantas (medidos de centro a centro de penca) e hileras; Con una separación entre camas, de 3.4 metros. Se tendrá una densidad de 24,000 plantas por hectárea. Dos líneas de riego por cama.

Las pencas se colocan enterrando la mitad de ellas y orientándolas de manera perpendicular a la hilera. La orientación perpendicular de las pencas, facilita la eliminación de la maleza al tener la posibilidad de introducir herramientas entre las hileras desde los pasillos.

Manejo agronómico previo a la plantación tanto para temporal como riego

Previo a la plantación se realizarán prácticas como es la inoculación con bacterias y hongos benéficos, incorporación de una fertilización de fondo. Que consiste en aplicar al menos 20 toneladas de estiércol seco ha⁻¹, una tonelada de fósforo, 300 kg de potasio y 300 de N (SO₄) antes de plantar (2, 0.1, 0.03 y 0.03) kg m⁻²; respectivamente).

Adicionalmente, aplicar 20 g sulfato de Fe y Zn m⁻². Una vez distribuidas sobre la superficie de la cama de plantación debe ser incorporado y cubierto. La fuente de fertilizante fosfatado debe ser el **superfosfato de calcio simple en polvo** a fin de que

estén disponibles para su absorción, al tenerse un control en el manejo del riego, durante el crecimiento de la planta al menos 3 años. Es necesario que el estiércol esté descompuesto (al menos tres meses) y composteado para evitar añadir semillas de maleza y arbustivas en la plantación.

La cantidad del fertilizante órgano-mineral recomendada se distribuirá en una capa de 10 cm de espesor, solamente en la cama de plantación, dispersándose en forma homogénea, ya sea manualmente con palas o con una cuchilla mecánica. Posteriormente se incorpora en los primeros 20 cm de profundidad, manualmente o mecánicamente mediante una rastra ligera.



Un ejemplo de incorporación del fertilizante órgano-mineral durante la preparación de la cama de cultivo antes de la plantación de nopal.

Manejo del agua de riego.

La plantación se hace en terreno seco. Si las pencas a establecer están bien hidratadas, una vez plantadas, se puede iniciar el riego a los 15 días de la plantación. Esto es necesario para dar tiempo a que cicatricen las heridas que pudieran haberse causado durante el traslado o durante la plantación. Cuando se utilizan pencas deshidratadas, puede regarse tan pronto cuando termine la plantación.

Es conveniente señalar que se realizan los trabajos técnicos apropiados para el establecimiento de la Unidad de Producción, definición del diseño, instalación del sistema de riego superficial o sub-superficial (goteo), preparación de bio-fertilizante, así como también proporcionar capacitación sobre manejo del sistema a los técnicos y productores para el manejo totalitario en el sistema de producción.

La frecuencia del riego y la cantidad de agua a aplicar se hará durante todo el año, en etapas previamente seleccionadas. La lámina de riego total será de 200 mm. Considerándose un requerimiento hídrico de 50 m³ cada 9 días. La distancia entre góteros será similar a la distancia de la plantación del cladodio.

Aplicación de abono órgano-mineral y la aplicación de la técnica de fertigación. Una vez establecida la plantación de nopal, cada año se harán aplicaciones de abono orgánico semi-seco (vacuno) en combinación con fertilizantes fosfatado, en la cama de plantación La aplicación de esta combinación se hará entre las hileras

de plantas. El nitrógeno que se adicionara siempre en la lámina de riego. **En el caso de potasio se hará un mes antes de cada corte que se realice. Las dosis se definirán en su oportunidad para cada unidad de producción.** Simultáneamente con el riego se adicionarán los fertilizantes, en concentraciones previamente definidas, para nutrir a la planta (fertigación). **Para ello se realizarán cursos de capacitación para los técnicos y productores “in situ”, para definir el manejo de la nutrigación durante etapas fenológicas del nopal.** El propósito de esta técnica es que las plantas reciben cantidades más precisas, de agua y nutrición para incrementar su eficiencia y reducir el desarrollo de malezas. Esta estrategia nutricional es también con el propósito de adelantar el crecimiento del cladodio para cosechar 4 veces durante el año y lograr incrementos en términos de crecimiento, rendimiento y calidad de los mismos en su contenido proteico.

Se reducirán costo en las operaciones de campo al humedecerse solo la cama de plantación y entre hileras permanecen secas, El sistema de riego por goteo, con goteros autocompensables, permite regar plantaciones en terrenos desnivelados con condiciones variadas de suelo y finalmente se reduce la erosión y lixiviación del nitrógeno en el perfil del suelo.

Época de plantación.

A cielo abierto las plantaciones preferentemente se realizan en el mes de marzo al finalizar el periodo de heladas y se aprovechan las condiciones climáticas naturales para acelerar el crecimiento dado que el sistema de producción es bajo irrigación y un mayor aprovechamiento de la nutrición al favorecerse la transpiración de la planta de nopal, que favorecen la obtención de una mayor producción de biomasa verde. Aunque el cladodio de nopal tiene una capa de cera y una epidermis gruesa que reducen la pérdida de agua por transpiración.

Como se mencionó anteriormente, la plantación se hace en terreno seco para que la penca madre se adapte y se eviten pudriciones iniciales; la brotación se inicia rápidamente y a los 40 días después de la plantación se puede iniciar la cosecha de pequeñas estructuras vegetativas del primer nivel, sugiriéndose que la cosecha, se realice por única vez, a partir del segundo nivel, para favorecer el enraizamiento y fijación de la planta. Otra época de plantación que usualmente se recomienda, es el mes de agosto. Generalmente se disminuye significativamente la brotación, inicio de la cosecha y disminuyendo significativamente la productividad de las plantas; aunque un manejo agronómico que se sugiere, es someter la planta de nopal a sequía, durante el primer mes después de la plantación y restituir el riego conjuntamente con una solución nutritiva concentrada de N, P y K, para estimular un crecimiento vegetativo rápidamente.

Deshierbes.

Dado que la plantación será para forraje intensivo, el control de la maleza podría ser un problema en este sistema de producción por la alta densidad de plantas que se maneja. Esta práctica puede hacerse con paso de rastra para las calles y manual para las camas de cultivo, para eliminar hospederos de plagas. Se recomienda realizara cada 3 veces al año con base a las necesidades del cultivo y a la disponibilidad de equipo y recursos económicos. se debe tener presente que una huerta libre de

Preparación de cama de plantación		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aplicación de la fertilización órgano mineral de fondo								X	X	X	X	X
Preparación del material vegetativo								X	X	X	X	X
Traslado e inicio de la Plantación								X	X	X	X	X

Labores culturales durante el año.

Actividad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Poda de formación			X	X	X							
Poda sanitaria			X	X								
Aplicaciones preventivas		X				X				X		
Deshierbes		X				X				X		
Fertilización órgano-mineral								X				
Corte de nopal		X			X			X			X	
Irrigación y nutrición	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Paso de rotocultivador		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Producción de biomasa para forraje				X	X	X	X	X				

Que representa el uso de abonos orgánicos,

En el programa de producción de nopal forrajero, efectivamente el empleo eficiente de los residuos animales como abonos puede ser una práctica de manejo agronómica y económicamente viable para la producción sustentable en zonas áridas y semiáridas; En éstas áreas, se observan procesos degradativos por la disminución de la fracción orgánica de los suelos ante el intenso uso agrícola. Además, actualmente, prevalece una crisis total de energía, con el consecuente aumento de los costos de los fertilizantes inorgánicos y serios problemas de contaminación por el uso excesivo de los fertilizantes.

El abono orgánico en la sustentabilidad agrícola.

Otro aspecto que aporta a la idea de sustentabilidad es que los estiércoles no sólo proveen nutrimentos, sino que -particularmente cuando su uso es prolongado- suelen ejercer acciones positivas sobre un variado conjunto de propiedades edáficas. Fundamentalmente, porque introducen mejoras considerables en el contenido y en la calidad de la materia orgánica. Los valores orgánicos de estos materiales son variados y fundamentalmente están en relación con la especie animal, con la alimentación del ganado y con el medio en donde los mismos se acumulan y almacenan. En el caso específico de los rumiantes, el forraje rico en fibra que compone su dieta fundamental también contiene una cierta proporción de ligninas. Estas ligninas no son prácticamente degradadas ni por las enzimas de digestión ni por los microorganismos, y se excretan en el estiércol, junto a las sustancias constituidas por proteínas indigeribles. Son los componentes más importantes para la generación de las sustancias húmicas estables. Aplicaciones reiteradas de estiércoles de ganado durante períodos prolongados suelen elevar los contenidos de humus del suelo.

El efecto de la aplicación de abono orgánico en las propiedades del suelo.

El aplicar abono orgánico, actúa positivamente sobre la condición física de los suelos. Así, se han logrado importantes disminuciones de la densidad aparente, incrementos de la porosidad total, de la macro-porosidad y de la estabilidad estructural y mejoras en la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, mediante la incorporación de variados tipos de estiércoles.

También el estiércol ejerce un efecto favorable en la condición biológica por el gran y variado número de bacterias que posee. Éstas producen transformaciones químicas no sólo en el estiércol mismo sino, además, en el suelo, haciendo que muchos elementos no aprovechables por las plantas puedan ser absorbidos y asimilados por ellas. Además, el abono orgánico aumenta la población y la actividad de algunos componentes de la fauna edáfica, como por ejemplo las lombrices.

No obstante, la incorporación de estiércol en zonas árida, en dosis elevadas, pueden causar problemas al incrementar la salinidad edáfica, elevar el pH y aumentar la concentración en el suelo de nitrato, amonio y otros iones tóxicos. Los dos primeros efectos se relacionan con las características propias de los estiércoles. En general, los excrementos animales son alcalinos, fundamentalmente por liberar nitrógeno en forma de urea, que se descompone formando amoníaco. Contenidos relativamente altos de sales y/o una reacción básica pueden constituirse en factores perjudiciales para las plantas de los cultivos en general, especialmente durante la germinación y la emergencia. Usualmente por la producción de nopal, se recomiendan hasta 200 ton ha⁻¹ lo cual puede causar daños por salinidad, donde no exista alta disponibilidad de agua ni la cantidad suficiente de estiércol. Sin embargo, el nopal es tolerante a la salinidad, pero debe establecerse cuando hay humedad retenida en el suelo.

Cuadro. Valores de pH y Conductividad Eléctrica determinados en diferentes tipos de abono orgánico.

Determinación química	Tipo de estiércol				
	Vacuno	Porcino	Caprino	Conejo	Gallinaza
pH	7,6	7,3	8,2	7,5	7,5
CE (mS cm ⁻¹)	6,3	9,4	12	8,9	14,2

En relación de la cantidad de nitrógeno y fósforo que se recomienda para el nopal forrajero en riego asciende a 227 a 122 kg ha⁻¹; respectivamente. En este programa de nopal, además de la cantidad de estiércol (20 ton ha⁻¹), se adicionarán, 300 kg de sulfato de amonio, 1000 kg de superfosfato de calcio simple y 300 kg de potasio ha⁻¹, que corresponden a 60, 200, y 180 kg ha⁻¹; respectivamente. Es conveniente señalar que la cantidad de nitrógeno representa solo el 26.7% del total que se recomienda (227 kg), usualmente En cuanto a fósforo la cantidad aplicar, representa el 63.9% (122 kg) más que el que recomiendan. Solo que en este caso su efecto residual será por tres años. En cuanto a potasio, se ha demostrado que absorbe un 300% más que nitrógeno. Por lo tanto, está recomendándose una fertilización de fondo, dado la importancia del potasio en la cantidad de proteína e hidratación de los cladodios a la cosecha, (mayor peso en agua), para las etapas críticas de estiaje para el ganado.

Importancia de la mineralización de los estiércoles en los programas de fertilización del nopal.

No obstante, las consideraciones precedentes, el interés esencial a nivel de los productores y de profesionistas, los estiércoles en calidad de enmiendas lo consideran su uso como fertilizante químico. Sin embargo, como fuente de nutrimentos en estos materiales son de baja concentración al compararse con los fertilizantes inorgánicos. Nitrógeno (1.27%), fósforo (0.81%) y potasio (0.84 %); Aso y Bustos, 1991. Además, la descomposición de algunas de las fracciones orgánicas presentes en los estiércoles, sólo una parte de los nutrimentos presentes el producto original queda finalmente a disposición de las plantas.

Investigaciones reportan que al primer año de incorporación solo el 25% del nitrógeno contenido en el estiércol se mineraliza. Esto significa que, si incorporamos 20 ton de estiércol, con un contenido de 1.27% solo se dispondría de 63.5 kg de N para el nopal durante el año. Para el segundo año se tendría la mineralización de 28.5 kg de N, como efecto residual.

Cuadro. Contenido nutrimental de dos tipos de abonos orgánicos (Aso y Bustos, 1991)

Nutrimento	Estiércol Vacuno	Gallinaza
Materia orgánica (%)	48,9	54,1
Nitrógeno total (%)	1,27	2,38
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅ , %)	0,81	3,86
Potasio (K ₂ O, %)	0,84	1,39
Calcio (CaO, %)	2,03	3,63
Magnesio (MgO, %)	0,51	0,77

En este Cuadro también se aprecia que el contenido de materia orgánica que se incorpora es alrededor del 48% para el estiércol vacuno y 54.1% por la incorporación de gallinaza. Este último, aportaría 476 kg de nitrógeno, por la incorporación de las 20 toneladas ha⁻¹. De esta cantidad se mineralizaría 166.6 kg de N durante el año de aplicación, para ser aprovechado por el nopal. De ahí, el interés por el uso en agricultura de materiales orgánicos de diversos orígenes; principalmente en las zonas áridas y semi-áridas.

En relación de la cantidad de nitrógeno y fósforo que se recomienda para el nopal forrajero en riego asciende a 227 a 122 kg ha⁻¹; respectivamente. En este caso, el programa de nopal, además de la cantidad de estiércol (20 ton ha⁻¹), se adicionarán, 300 kg de sulfato de amonio, 1000 kg de superfosfato de calcio simple y 300 kg de potasio ha⁻¹, que corresponden a 60, 200, y 180 kg ha⁻¹; respectivamente. Es conveniente señalar que la cantidad de nitrógeno representa solo el 26.7% del total que se recomienda (227 kg). En cuanto a fósforo la cantidad aplicar, representa el 63.9% (122 kg) más que el que recomiendan. Solo que en este caso su efecto residual será por tres años. En cuanto a potasio, se ha demostrado que el nopal forrajero, absorbe un 300% más que nitrógeno.

Por lo tanto, esta recomendación inicial directamente al suelo, es con la finalidad de asegurar que la planta del nopal disponga de nutrición desde su establecimiento hasta los primeros 3 años de crecimiento. Su incorporación en los primeros 30 cm asegurará que las raíces de las plantas tendrán inicialmente acceso nutrimental y posteriormente, la absorción de nutrimentos de escasa movilidad como es el caso de fósforo y potasio. Con ello, se pretende mejorar, mantener el nivel de fertilidad del suelo, y disminuir costos de aplicación de fertilizantes sólidos año con año. Estas cantidades serán complementadas con adiciones de estos tres nutrimentos durante todo el año a través del riego. Mismas que serán calculadas con base a la lámina de riego aplicadas durante el año (200-300 mm).